

P A U L D A V I E S

Ultimele trei minute

IPOTEZE PRIVIND SOARTA FINALĂ A UNIVERSULUI



HUMANITAS

PAUL DAVIES este profesor de fizică la Universitatea din Adelaide, autor al unor cărți care s-au bucurat de mult succes atât în Australia, cât și în Statele Unite și Anglia, cum ar fi: THE MIND OF GOD, THE COSMIC BLUEPRINT și SUPERFORCE. În prezent trăiește în Australia.

PAUL DAVIES

ULTIMELE TREI MINUTE

Ipoteze
privind soarta finală
a universului

Traducere de
GABRIELA ZAMFIRESCU



HUMANITAS

Coperta
IOANA DRAGOMIRESCU MARDARE

PAUL DAVIES
THE LAST THREE MINUTES
BasicBooks, A Division of HarperCollins Publishers, Inc., New York
© Paul Davies, 1994
Numele și marca „Science Masters” sînt proprietatea lui Brockman, Inc.

© Humanitas, 1994, pentru prezenta versiune românească

ISBN 973-28-0501-3

Și astfel într-o zi,
Puternicele metereze
ale puternicului univers,
Încercuite de forțe ostile,
Vor plînge în fața decăderii
și se vor strivi în ruină.

LUCREȚIU, *De Rerum Natura*

Cînd eram student, la începutul anilor '60, se manifesta un puternic interes pentru problema originii universului. Teoria exploziei inițiale, sau a big-bang-ului, care datează din anii '20, dar a fost luată în considerare în mod serios abia după 1950, era foarte bine cunoscută, dar departe de a convinge. Puternica teorie rivală care desființa cu totul originile cosmice ale universului era încă, pe alocuri, scenariul cel mai la modă. A urmat în 1965 descoperirea radiației cosmice termice de fond de către Robert Penzias și Arno Wilson și problema s-a modificat. Aceasta pleda desigur, cu claritate, pentru un început violent, fierbinte și brusc al universului.

Cosmologii s-au străduit cu fervoare pentru a găsi implicațiile acestei descoperiri. Cît de fierbinte era universul după un milion de ani de la explozia inițială? Un an după ea? O secundă? Ce fel de procese fizice or fi avut loc în infernul primordial? A mai rămas oare vreo relicvă din zorii creației care să păstreze urme ale condițiilor extreme ce trebuie să fi dominat atunci?

Îmi amintesc bine de o conferință de cosmologie din 1968. Profesorul a încheiat prin a revizui teoria exploziei inițiale în lumina descoperirii radiației termice de fond. „Unii teoreticieni au încercat să sta-

bilească însăși compoziția chimică a universului, bazându-se pe procesele nucleare ce au avut loc în timpul primelor trei minute de la explozia inițială” — a spus el cu un zîmbet. Întregul auditoriu a izbucnit în rîs. Părea o ambiție absurdă să încerci să descrii starea universului la doar cîteva momente de la începuturile sale. Chiar și arhiepiscopul James Ussher, din secolul al XVII-lea, ale cărui studii minuțioase în domeniul cronologiei biblice l-au făcut să afirme că universul a fost creat la 23 octombrie 4004 înainte de Cristos, n-a avut îndrăzneala de a preciza succesiunea evenimentelor din timpul primelor trei minute.

Acesta era ritmul progresului științific, iar la numai zece ani de la descoperirea radiației termice de fond, primele trei minute deveniseră o temă standard pentru studenți. O mulțime de cărți s-au scris pe acest subiect. Apoi, în 1977, fizicianul specialist în cosmologie, Steven Weinberg, a publicat cartea cu un titlu sugestiv ales *The First Three Minutes* (*Primele trei minute*), care a devenit un best-seller. Ea s-a dovedit a fi o piatră de temelie în cadrul publicațiilor din domeniul științei popularizate și astfel iată-l pe unul din marii experți mondiali prezentînd publicului larg o foarte convingătoare și detaliată teorie despre procesele ce au avut loc după explozia inițială.

În timp ce marele public abia începea să asimileze aceste noutăți tulburătoare, savanții continuau cercetările. Atenția a început să se deplaseze de la ceea ce devenise cunoscut ca primele cîteva minute ale universului după explozia inițială, către universul *foarte* timpuriu — adică o fracțiune infinitezimală de secundă după început. După vreo zece ani, Stephen Hawking, expertul englez în fizică matematică, a putut să descrie, plin de îndrăzneală, în cartea sa *A Brief History of*

Time (Scurtă istorie a timpului)*, ultimele idei despre prima bilionime de bilionime de bilionime dintr-o secundă. Hohotul de rîs cu care s-a încheiat conferința aceea din 1968 pare acum dogit.

O dată cu clarificarea teoriei exploziei inițiale atît pentru marele public, cît și pentru oamenii de știință, se acordă tot mai multă atenție viitorului universului. Ne-am făcut acum o idee despre începutul universului, dar ne întrebăm cum îi va fi sfîrșitul. Ce putem spune despre soarta sa finală? Va sfîrși el printr-o explozie sau printr-un scîncet, sau poate nu va sfîrși deloc? Și ce se va întîmpla cu noi? Va putea umanitatea, prin descendenții ei, fie ei roboți sau ființe în carne și oase, să supraviețuiască pentru eternitate?

Este imposibil să nu fi dornic să afli răspunsul la astfel de întrebări chiar dacă Armageddon nu se află după colț. Lupta noastră pentru supraviețuire pe planeta Pămînt, blocată la ora actuală de crizele făcute de noi, oamenii, este plasată într-un binevenit context nou, cînd sîntem constrînși a reflecta la dimensiunile cosmologice ale existenței noastre. *Ultimele trei minute* este povestea viitorului universului, atît cît îl putem prevedea, bazîndu-ne pe cele mai noi idei ale unor bine cunoscuți fizicieni și specialiști în cosmologie. Acesta nu este în întregime apocaliptic. Viitorul conține de fapt promisiunea unui potențial de dezvoltare și unei bogății de experiență fără precedent. Dar nu putem ignora faptul că ceea ce există la un moment dat poate înceta să mai existe.

Această carte este adresată marelui public. Nu sînt necesare prealabilele cunoștințe științifice sau de matematică pentru înțelegerea ei. Din cînd în cînd trebuie totuși să aducem în discuție numere foarte mari sau foarte mici și ne este de ajutor să folosim o notare matematică

*Traducerea în limba română a acestei cărți a apărut la editura Humanitas, în 1994, și aparține Michaelei Ciodaru (n.ed.).

compactă, cunoscută ca puterile lui 10, pentru a le reprezenta. Numărul o sută de miliarde, de exemplu, se scrie 100 000 000 000, ceea ce este destul de incomod. Sînt 11 zerouri după cifra 1, așa că putem reprezenta numărul scriind 10^{11} — în cuvinte se spune „zece la puterea a unsprezecea”. În mod similar, un milion este 10^6 , iar un bilion 10^{12} și așa mai departe.* Țineți cont totuși că această notație tinde să ascundă viteza de creștere a acestor numere: 10^{12} este de o sută de ori mai mare decît 10^{10} — deci este *mult* mai mare decît 10^{10} , deși arată cam la fel. Puterile lui 10 pot reprezenta și numere foarte mici, folosind exponenți negativi. De exemplu, fracția $1/1\,000\,000\,000$ (o miliardime) devine 10^{-9} , pentru că sînt nouă zerouri după cifra 1 din numitorul acestei fracții.

În sfîrșit, aș dori să-l previn pe cititor că această carte este, necesarmente, foarte speculativă. În timp ce majoritatea ideilor ce urmează a fi prezentate se bazează pe înțelegerea obișnuită a adevărului științific, viitorologia nu poate să se bucure de același statut ca și celelalte căutări științifice. Totuși tendința de a specula în legătură cu domeniul final al universului este irezistibilă. Am scris această carte în spiritul întrebărilor unei minți deschise. Scenariul de bază al unui univers născut din explozia inițială, și apoi extinzîndu-se, răcindu-se către un stadiu final de degenerare fizică sau poate către colapsul gravitațional catastrofal este destul de bine stabilit din punct de vedere științific. Ceea ce este totuși mult mai puțin sigur sînt procesele fizice dominante care pot avea loc în acest imens interval de timp.

* În lucrare s-a optat pentru folosirea cuvîntului *miliard* pentru a desemna 10^9 (adică 1 000 000 000), iar a cuvîntului *bilion* ca echivalînd cu 10^{12} (adică 1 000 000 000 000). *Bilion* este un termen ambiguu. El este întrebuințat în unele țări (Anglia, Germania etc.) ca egal cu o mie de miliarde (10^{12}), iar în altele (S.U.A. etc.) ca egal cu un miliard (10^9). În România se întîlnește cu ambele valori, dar preponderent cu cea de 10^{12} , ceea ce explică opțiunea noastră (*n. ed.*).

Astronomii au deja o idee clară despre evoluția generală a stelelor obișnuite și devin din ce în ce mai încrezători în posibilitățile de a înțelege proprietățile de bază ale stelelor neutronice și ale găurilor negre; dar dacă universul va rezista mai multe trilioane de ani, pot avea loc subtile procese fizice despre ale căror efecte putem doar presupune că ar deveni, în cele din urmă, foarte importante.

În fața problemei înțelegerii incomplete a naturii, tot ce putem face pentru a încerca să deducem soarta finală a universului este să folosim cele mai bune teorii existente și să le extrapolăm către concluziile lor logice. Problema este că multe teorii ce vorbesc despre soarta universului rămân de verificat experimental. Unele dintre procesele despre care discutăm — de exemplu, emisia unei gravitaționale, dezintegrarea protonului și radianța găurilor negre — sînt adoptate cu entuziasm de către teoreticieni, dar nu au fost încă cercetate în mod științific. Fără îndoială, vor mai fi și alte procese fizice despre care nu știm încă nimic și care ar putea modifica în mod spectaculos ideile prezentate aici.

Aceste incertitudini devin încă și mai mari cînd ne gîndim la efectele posibile ale vieții inteligente în univers. Aici intrăm în domeniul literaturii științifico-fantastice; totuși, nu putem ignora faptul că ființele pot modifica, de-a lungul unor perioade imense de timp, la scară foarte mare comportarea sistemelor fizice. M-am hotărît să includ tema vieții în cosmos, deoarece pentru mulți cititori fascinația în fața sorții universului este indisolubil legată de grija lor față de soarta ființelor umane sau a descendenților lor îndepărtați. Trebuie să ne amintim totuși că oamenii de știință nu au înțeles încă exact natura conștiinței umane și nici care sînt trăsăturile fizice necesare pentru a permite o activitate conștientă pînă în viitorul îndepărtat al universului.

Aș dori să le mulțumesc lui John Barrow, Frank Tipler, Jason Twamley, Roger Penrose și Duncan Steel pentru discuțiile folositoare asupra subiectului cărții, lui Jerry Lyons, editorul seriei, pentru citirea critică a acestui manuscris, precum și Sarei Lippincott pentru excelenta ei muncă pe manuscrisul final.

Ziua judecății de apoi

DATA: 21 august 2126. Ziua judecății de apoi.

LOCUL: Pământ. În lungul și în latul planetei, o populație disperată încearcă să se ascundă. Dar miliarde de oameni nu au unde merge. Unii coboară adânc sub pământ, căutînd puțuri de mine scoase din uz, peșteri, sau pornesc spre mare în submarine. Unii sînt gălăgioși, alții nepăsători, alții cu intenții ucigașe. Cei mai mulți însă stau mohorîți, așteptînd sfîrșitul.

În înaltul cerului, o imensă rază de lumină este gravată în țesătura celestă! Ceea ce apăruse ca o creionare subțire de radiații ușoare, ca o nebuloasă, s-a umflat zi după zi, alcătuiind o involburare de gaze incandescente în vidul spațiului. În capătul cozii de vapori s-a format un bulgăre negru diform și amenințător. Dimensiunile mici ale capului cometei contrastează cu uriașa ei putere distructivă. Se apropie de planeta Pământ cu o viteză de 40 de mii de mile pe oră, adică 10 mile pe secundă — un bilion de tone de gheață și rocă, destinate să lovească Pământul cu o viteză de 70 de ori mai mare decît viteza sunetului.

Omenirea nu poate decît să privească și să aștepte. Oamenii de știință, care de mult și-au abandonat telescoapele în fața inevitabilului, au închis liniștiți com-

puterele. Încercările nesfârșite de simulare a dezastrului sînt oricum încă prea nesigure și concluziile lor prea alarmante pentru a fi date publicității. Unii savanți au elaborat strategii de supraviețuire folosind cunoștințele lor tehnice, pentru a fi în avantaj față de concetățenii obișnuiți. Alții și-au planificat să observe cataclismul cu cît mai multă atenție, păstrîndu-și calitatea de oameni de știință pînă la sfîrșit și transmițînd date unor aparate îngropate adînc sub pămînt. Pentru posteritate.

Momentul impactului se apropie. În întreaga lume, milioane de oameni își verifică agitați ceasurile. Sînt ultimele trei minute.

Imediat deasupra Pămîntului, cerul se despică. O mie de mile cubice de aer sînt aruncate în lături. O flacără mai mare decît un oraș se arcuiește spre Pămînt și 15 minute mai tîrziu îl propulsează. Planeta se zguduie cu o forță egală cu cea a zece mii de cutremure. O undă de șoc a aerului deplasat mătură suprafața pămîntului, aplatizînd toate structurile, pulverizînd totul în calea sa. Terenul plat din jurul craterului de impact se ridică sub forma unor munți de lichid, de cîteva mile înălțime, dezvelind măruntaiele pămîntului, într-un crater de circa 100 mile diametru. Peretele de rocă topită ondulează către exterior, aruncînd totul în aer ca pe o aluviune împinsă într-o mișcare lentă.

În interiorul craterului, milioane de tone de rocă sînt vaporizate. Cea mai mare parte din ele formează o mlaștină, restul este pulverizat direct în spațiu. O cantitate mare de smoală este presărată pe jumătate din continent pentru a strivi totul pe o distanță de sute, sau chiar mii de mile, provocînd distrugeri masive peste tot. Cîteva jeturi topite cad în ocean, ridicînd valuri uriașe care se adaugă la haosul din jur. O coloană gigantică de praf se ridică în atmosferă, ascunzînd soarele și înconjurînd întreaga planetă. Strălucirea

soarelui este înlocuită acum cu sinistra lumină a unui bilion de meteoriți arzînd Pămîntul cu căldura lor, cînd materialul dislocuit se scufundă înapoi din spațiu în atmosferă.

Scenariul precedent se bazează pe prezicerea că la 21 august 2126, cometa Swift-Tuttle va lovi Pămîntul. Dacă acest lucru s-ar întîmpla, devastarea globală ce ar urma fără îndoială ar distruge civilizația umană. Cînd această cometă ne-a vizitat în 1993, calculele preliminare au sugerat o coliziune posibilă în 2126. De atunci, calculele revizuite arată că această cometă va rata Pămîntul cu două săptămîni: o primejdie ocolită în ultima clipă, dar putem respira ușurați. Totuși pericolul nu va dispărea total. Mai devreme sau mai tîrziu, Swift-Tuttle — sau alt obiect asemănător — va lovi totuși Pămîntul. Estimările sugerează că circa 10 000 obiecte cu diametre de jumătate de kilometru sau mai mult gravitează în jurul Pămîntului, intersectîndu-și orbitele. Ele își au originea în toate zonele mai reci ale sistemului solar. Unele sînt rămășițele cometelor care au fost prinse de cîmpurile gravitaționale ale planetelor, altele provin din centura de asteroizi ce se găsește între Marte și Jupiter. Instabilitatea orbitală este cauza continuei deplasări a acestor corpuri mici dar fatale în interiorul sau exteriorul sistemului solar, constituind o amenințare mereu actuală pentru Pămînt și planetele surori.

Multe din aceste obiecte sînt capabile să facă mai mult rău omenirii decît toate armele nucleare puse la un loc. Este doar o chestiune de timp, pînă ce una va lovi. Atunci cînd acest lucru se va întîmpla, vor fi momente grele pentru omenire. Va urma o perioadă de întrerupere bruscă și fără precedent în istoria speciei noastre. Pentru Pămînt, astfel de coliziuni sînt mai mult sau mai puțin ceva obișnuit. Impacte cu comete sau asteroizi de această magnitudine apar în medie la inter-

vale de cîteva milioane de ani. Se crede că unul sau mai multe astfel de evenimente au cauzat dispariția dinozaurilor acum 65 milioane de ani. Am putea urma noi.

Credința în Armageddon este bine înrădăcinată în multe religii și culturi. *Biblia* dă o imagine foarte vie a morții și distrugerii: *Din cer au apărut atunci săgeți luminoase, tunete, bubuituri și un puternic cutremur de pămînt, mult mai puternic decît a fost vreodată de cînd trăiește omul pe pămînt... Orașele din toate țările se prăbușesc... Toate insulele se scufundă și munții nu mai pot fi găsiți, stînci uriașe, de sute de kilograme fiecare, cad din cer asupra oamenilor care-l blestemă pe Dumnezeu pentru această teribilă năpastă.*

I se pot întîmpla o mulțime de lucruri ciudate Pămîntului — un obiect plătînd aflat într-un univers supus unor forțe foarte violente. Totuși planeta noastră găzduiește viață și a rămas ospitalieră pentru ea timp de cel puțin trei miliarde și jumătate de ani, deci universul nu este în totalitate ostil.

Secretul succesului nostru pe planeta Pămînt este spațiul. Mult spațiu. Sistemul solar reprezintă o mică insulă de activitate într-un ocean de pustietate. Astfel, cea mai apropiată stea după soarele nostru se află la o distanță de peste patru ani lumină. Pentru a vă face o idee despre cît de departe este această stea, gîndiți-vă că lumina parcurge distanța de 93 milioane mile de la Pămînt la soare în numai opt minute și jumătate. În patru ani, ea parcurge peste 20 bilioane de mile.

Soarele este o stea pitică tipică ce se găsește într-o anumită zonă a galaxiei noastre, Calea Lactee. Aceasta conține circa 100 miliarde de stele ce au masele de la cîteva procente din masa soarelui și pînă la de o sută de ori masa soarelui. Aceste obiecte împreună cu norii de gaze și praful cosmic și un număr nesigur de asteroizi, comete, planete, găuri negre se rotesc încet în

jurul centrului galactic. O astfel de imensă colecție de obiecte cosmice poate da impresia că galaxia este un sistem foarte aglomerat, dar acest lucru este numai aparent, deoarece partea vizibilă a Căii Lactee măsoară circa 100 000 ani lumină în diametru. Forma sa este plată, cu un nucleu central și câteva brațe în spirală formate din stele și gaz. Soarele nostru este situat într-un astfel de braț și este cam la 30 000 ani lumină față de centrul galaxiei.

După câte cunoaștem, galaxia Calea Lactee nu are nimic excepțional față de alte galaxii. O galaxie asemănătoare numită Andromeda se află la două milioane ani lumină în direcția constelației cu același nume. Este vizibilă și cu ochiul liber ca o cărare luminoasă de pulbere. Mai multe bilioane de galaxii, unele spiralate, altele eliptice, unele cu formă neregulată, abundă în universul observabil. Scara distanțelor este uriașă. Telescoape foarte puternice ne dau imaginile unor galaxii aflate la o distanță de mai multe miliarde de ani lumină. În unele cazuri, lumina care ne parvine de la ele a plecat spre noi înainte de formarea Pământului (patru miliarde de ani și jumătate).

Acest spațiu imens indică faptul că ciocnirile cosmice sînt rare. Cea mai mare amenințare pentru Pământ provine probabil de la noi înșine, din grădina proprie. Asteroizii nu-și au, în mod normal, orbitele în apropierea Pământului. În general, ei sînt grupați între Marte și Jupiter, alcătuiind centura de asteroizi. Dar masa imensă a lui Jupiter poate să deregleze orbitele asteroizilor, făcîndu-i să plonjeze din cînd în cînd către soare și astfel amenințînd Pământul.

Aici amenințarea nu vine de la Jupiter, ci de la stele călătoare. Galaxia nu este nemișcată, ci într-o rotație înceată, iar stelele orbitează în jurul nucleului galactic. O rotație a soarelui împreună cu micul său sistem pla-

netar în jurul centrului galactic durează 200 milioane de ani, timp în care sînt posibile multe schimbări. Astfel, stele apropiate pot atinge în trecerea lor norul de comete, deplasînd cîteva spre soare. Așa cum cometele plonjează către adîncul sistemului solar, tot astfel soarele evaporă o parte din materialul lor volatil, iar vîntul solar îl transformă într-o trenă lungă — faimoasa coadă a cometei. Foarte rar cometa se va ciocni cu Pămîntul în timpul șederii sale în interiorul sistemului solar. Ea produce dezastrul, dar vina o poartă steaua călătoare. Din fericire, imensele distanțe dintre stele ne feresc de prea multe astfel de întîlniri.

Și alte obiecte cosmice pot să întîlnească drumul nostru în călătoria lor galactică. Nori uriași de gaz trec pe lîngă noi și deși sînt mai rarefiați chiar decît vidul de la laborator, pot influența vîntul solar și valul de căldură provenit de la soare. Alte obiecte, chiar mai sinistre, se pot ascunde în adîncimile de cerneală ale spațiului: planete neastîmpărate, stele neutronice, pitice brune, găuri negre — toate acestea și multe altele pot năvăli peste noi, fără să ne prevină, provocînd un dezastru asupra sistemului solar.

Dar amenințarea poate fi și mai perfidă. Unii astronomi cred că soarele poate aparține unui sistem de stele duble, ca multe alte stele din galaxie. Dacă există, steaua noastră companion — numită Nemesis sau Steaua Morții — este prea neclară sau prea îndepărtată pentru a fi fost deja descoperită. Dar în mișcarea sa lentă în jurul soarelui, ea-și poate face simțită prezența din punct de vedere gravitațional, perturbînd periodic comete îndepărtate și „pistonînd” în direcția Pămîntului, pentru a produce o serie de impacte devastatoare. Geologii au descoperit că cele mai multe distrugerii ecologice se petrec la interval de circa 30 milioane de ani.

Privind problema mai departe, astronomii au observat galaxii întregi ce par a se ciocni. Ce șansă ar fi ca însăși Calea Lactee să fie izbită de o altă galaxie? Existența unor stele cu mișcări foarte rapide ar reprezenta o oarecare dovadă în sensul că însăși Calea Lactee ar fi fost deja „spartă” prin coliziunea cu galaxii mici vecine. Totuși coliziunea a două galaxii nu înseamnă neapărat un dezastru pentru fiecare din stelele ce le formează. Galaxiile sînt atît de puțin populate, încît pot să se contopească fără a avea loc coliziuni directe între stele individuale.

Multă lume este uimită și vrăjită de perspectiva judecății de apoi — rapidă și spectaculoasă distrugere a omenirii. Dar moartea violentă este mai puțin de temut decît decăderea înceată. Sînt foarte multe feluri în care Pămîntul poate deveni treptat neospitalier. O degradare ecologică lentă, schimbări climaterice, o mică variație în căldura emanată de soare — toate acestea ne pot amenința confortul și chiar supraviețuirea pe fragila noastră planetă.

Oricum, astfel de schimbări vor avea loc în mii sau chiar în milioane de ani, iar omenirea poate fi capabilă să le combată folosind o tehnologie avansată. Astfel, instalarea treptată a unei noi epoci glaciare, de exemplu, nu va însemna un dezastru total pentru speciile noastre, avînd în vedere timpul pe care-l avem la dispoziție pentru a reorganiza activitățile noastre. Putem presupune că tehnologia va continua să evolueze spectaculos în mileniile ce vor urma; dacă este așa, putem spera că ființele omenesti sau descendenții lor vor putea prelua controlul asupra unor sisteme fizice mult mai largi, astfel încît să înlătore pînă la urmă dezastrele chiar la scară astronomică. Poate omenirea, în principiu, să supraviețuiască veșnic? Posibil. Dar trebuie să fim conștienți că imortalitatea nu se obține ușor și

că s-ar putea ca ea să fie imposibilă. Universul însuși se supune unor legi fizice care îi impun un ciclu de viață caracteristic: naștere, evoluție și — poate — moarte. Soarta noastră este indisolubil legată de soarta stelelor.

Agonia universului

În anul 1856, fizicianul german Hermann von Helmholtz a făcut ceea ce s-a numit cea mai dezolantă prezicere întâlnită în istoria științei. Universul, pretindea Helmholtz, este în agonie. Baza acestei preziceri apocaliptice era așa-numita a II-a lege a termodinamicii. Formulată la începutul secolului al XIX-lea ca o teorie ce trata despre eficiența locomotivelor cu aburi, a II-a lege a termodinamicii — acum deseori numită simplu „a II-a lege” — a fost considerată curînd ca avînd valoare universală, chiar cu consecințe cosmice.

În cea mai simplă interpretare, legea a II-a susține că energia calorică se scurge de la fierbinte către rece. Aceasta este, fără îndoială, o proprietate evidentă a sistemelor fizice. Observăm cum lucrează această proprietate atunci cînd pregătim un fel de mîncare sau lăsăm o ceașcă cu cafea fierbinte să se răcească; căldura se scurge din regiunile cu temperatură înaltă către cele cu temperatură mai joasă — nu încape nici o îndoială. Căldura se manifestă în interiorul materiei sub formă de agitație moleculară. Într-un gaz, cum ar fi aerul, moleculele se mișcă haotic și se ciocnesc. Chiar și într-un corp solid atomii oscilează cu vigoare. Cu cît corpul este mai fierbinte, cu atît agitația moleculară este mai mare. Dacă două corpuri cu temperaturi diferite

sînt puse în contact, agitația moleculară mai mare din corpul fierbinte se transmite curînd și moleculelor corpului mai rece.

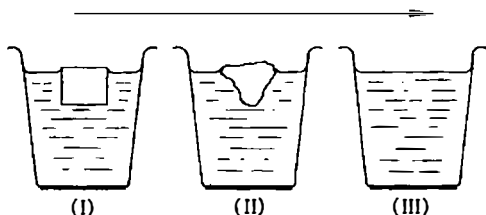


FIGURA 2.1 Săgeata timpului. Cubul de gheață care se topește definește o direcționalitate în timp: căldura se scurge de la apa caldă către gheața rece. Un film arătînd ordinea (III), (II), (I), ar fi imediat recunoscut ca un truc. Această asimetrie este caracterizată ca o cantitate numită entropie care crește pe măsură ce gheața se topește.

Deoarece căldura se scurge unidirecțional, procesul este asimetric în timp. Un film de animație arătînd căldura ce se scurge spontan de la rece la cald ar părea la fel de ciudat ca un râu curgînd către deal sau ca picăturile de ploaie ridicîndu-se către nori. Astfel, putem identifica o direcționalitate fundamentală a căldurii, adesea reprezentată printr-o săgeată indicînd din trecut către viitor. Această „săgeată a timpului” arată natura ireversibilă a proceselor termodinamice și i-a fascinat pe fizicieni timp de 150 ani. Lucrările lui Helmholtz, Rudolf Clausius și lordul Kelvin au condus la recunoașterea semnificației cantității numite entropie, ce caracterizează o schimbare ireversibilă în termodinamică. În cazul simplu al unui corp fierbinte în contact cu unul rece, entropia poate fi definită ca energie calorică împărțită la temperatură. Să analizăm o cantitate mică de căldură trecînd din corpul fierbinte în cel rece. Corpul fierbinte va pierde din entropie, iar cel rece va cîștiga entropie.

Pentru că este implicată aceeași cantitate de energie, dar temperaturile diferă, entropia câștigată de corpul rece va fi mai mare decît cea pierdută de corpul fierbinte. Astfel, entropia totală a întregului sistem — corpul fierbinte împreună cu cel rece — crește. O cerință a celei de-a II-a legi a termodinamicii este ca entropia unui astfel de sistem să nu scadă niciodată, pentru că dacă acest lucru s-ar întîmpla ar însemna că o parte din căldură ar fi trecut spontan de la rece către cald.

O analiză mai completă permite generalizarea acestei legi la toate sistemele închise: entropia nu scade niciodată. Dacă sistemul cuprinde un frigider care poate transfera căldura de la rece la cald, totalizînd entropia întregului sistem, trebuie să luăm în considerare energia disipată prin funcționarea frigiderului. Însuși procesul de disipare va crește entropia. Totdeauna în acest caz entropia creată prin funcționarea frigiderului face mai mult decît să compenseze reducerea de entropie rezultată din transferul de căldură de la rece la cald. În sistemele naturale, de asemenea, cum ar fi sistemele biologice sau formațiunile de cristale, entropia unei părți a sistemului adesea scade, dar acest lucru este compensat de o creștere de entropie în altă parte. Per total, entropia nu scade niciodată.

Dacă universul ca întreg poate fi considerat un sistem închis, bazîndu-ne pe faptul că nu există nimic „în afara” lui, atunci legea a II-a a termodinamicii face o importantă prezicere: entropia totală a universului nu scade niciodată. De fapt ea continuă să crească în mod neîndurător. Un bun exemplu se află chiar la pragul nostru cosmic — soarele, care în mod continuu trimite căldură către adînciturile reci ale spațiului. Căldura merge mai departe în univers fără a se întoarce vreodată; este un spectaculos proces ireversibil.

O întrebare firească este: poate entropia universului să crească mereu? Imaginați-vă un corp fierbinte și altul rece, puse în contact în interiorul unui container izolat din punct de vedere termic. Energia termică se scurge de la fierbinte către rece și entropia crește, dar în cele din urmă corpul rece se va încălzi, iar cel cald se va răci pînă ce ele ajung la aceeași temperatură. Cînd acest lucru s-a produs nu mai are loc nici un transfer de căldură. Sistemul din interiorul containerului va fi ajuns la o temperatură uniformă, o stare de stabilitate cu entropie maximă pe care o numim echilibru termodinamic.

Nici o altă schimbare nu mai este de așteptat atît timp cît sistemul rămîne izolat; dar dacă sistemul este perturbat într-un fel, de exemplu introducîndu-se mai multă căldură din exteriorul containerului, va apărea activitate termică, iar entropia va crește din nou către un maxim și mai înalt.

Ce ne spun deci ideile de bază ale termodinamicii cu privire la schimbarea cosmologică și astronomică? În cazul soarelui și al majorității celorlalte stele, scurgerea căldurii poate continua mai multe miliarde de ani, dar nu ineputabil. Căldura unei stele normale este generată de procesele nucleare din interiorul său. Așa cum vom vedea, soarele va rămîne în cele din urmă fără combustibil și, dacă nu se vor produce alte evenimente, se va răci pînă la temperatura spațiului înconjurător.

Deși Hermann von Helmholtz nu cunoștea nimic despre reacțiile nucleare (sursa imensei energii a soarelui era un mister la acea vreme), el a înțeles principiul general că orice activitate fizică în univers tinde către o stare finală de echilibru termodinamic, sau o entropie maximă, după care nimic important nu se va mai întîmpla niciodată. Această unică alunecare către echilibrul termodinamic a fost cunoscută pentru primii

specialiști în termodinamică drept „moartea termică” a universului. S-a recunoscut că sistemele individuale ar putea fi revitalizate prin perturbări din exterior, dar universul însuși nu ar avea „exterior” prin definiție, astfel încât nimic nu l-ar putea salva de la moartea termică atotcuprinzătoare. Părea inevitabilă.

Descoperirea faptului că universul este pe moarte ca o consecință inevitabilă a legilor termodinamicii a impresionat profund generații întregi de savanți și filosofi. Bertrand Russell, de exemplu, s-a simțit îndemnat să scrie următoarea sumbră apreciere în cartea sa *Why I Am Not a Christian (De ce nu sînt creștin)*, p. 107: „...toată munca anilor, toată devoțiunea, toată inspirația, toată strălucirea geniului uman sînt destinate să se stingă în uriașa moarte a sistemului solar, iar întregul templu al realizărilor omenești trebuie, în mod inevitabil, să fie îngropat dedesubtul ruinelor universului — toate aceste lucruri, chiar dacă nu foarte clare, sînt totuși suficient de sigure, astfel încât nici o filosofie care le neglijează nu poate spera să dăinuiască. Numai cu acest eșafodaj de adevăruri, cu fundamentarea clară a disperării neînduplecate, poate sălașul sufletului omenesc să fie construit în siguranță pe mai departe.”

Mulți alți scriitori au concluzionat din cea de-a II-a lege a termodinamicii și implicațiile sale asupra agoniei universului că universul este fără sens, iar existența umană pînă la urmă zadarnică. Voi reveni asupra acestui subiect în capitolele următoare și voi analiza dacă ea poate sau nu să fie interpretată greșit.

Prezicerea morții termice a cosmosului nu numai că ne spune ceva despre viitorul universului, dar și despre trecutul său. Este clar că dacă universul merge în jos în mod ireversibil, cu o viteză finită, către sfîrșitul său, el nu poate să fi existat dintotdeauna. Motivul este simplu: dacă universul ar fi infinit de bătrîn, el ar fi murit deja.

Ceva care se îndreaptă în jos cu o viteză finită în mod evident nu poate să fi existat dintotdeauna. Cu alte cuvinte, universul trebuie să-și fi început existența acum un număr finit de ani.

Este remarcabil faptul că această concluzie profundă nu a fost bine înțeleasă de savanții secolului al XIX-lea. Ideea originii bruște a universului într-o explozie inițială trebuia să mai aștepte observațiile astronomice ale anului 1920, dar o geneză clară într-un anumit moment din trecut pare să fi fost deja bine sugerată pe baze pur termodinamice.

Deoarece această concluzie evidentă nu se trăsese încă, astronomii secolului al XIX-lea erau uimiți de un paradox cosmologic ciudat, cunoscut ca paradoxul lui Olbers, după numele astronomului german care l-a formulat; el punea o întrebare simplă dar semnificativă: De ce este cerul negru noaptea? La prima vedere, problema pare banală. Noaptea, cerul este întunecat deoarece stelele sînt atît de îndepărtate de noi încît ne apar palide. Dar imaginați-vă că spațiul este nelimitat. În acest caz ar putea fi foarte bine o infinitate de stele. O infinitate de stele palide ar da totuși multă lumină.

Este ușor de calculat lumina stelară cumulată de la o infinitate de stele care nu se schimbă, distribuite mai mult sau mai puțin uniform în spațiu. Strălucirea unei stele scade cu distanța, invers proporțional cu pătratul ei. Aceasta înseamnă că la o distanță dublă strălucirea stelei este o pătrime din cea inițială, la o distanță triplă ea este de nouă ori mai mică și așa mai departe. Pe de altă parte numărul de stele crește cu cît privim mai departe. Astfel, geometria elementară arată că numărul de stele aflate, să zicem, la două sute de ani lumină de noi este de patru ori mai mare decît cel al stelelor aflate la o sută de ani lumină, în timp ce numărul stelelor aflate la trei sute de ani lumină este de nouă ori cît

ultimul. Astfel *numărul* stelelor crește proporțional cu pătratul distanței lor, în timp ce *strălucirea* lor *descrește* cu pătratul distanței. Aceste două efecte se anulează reciproc, ducînd la rezultatul simplu că lumina ce vine de la toate stelele aflate la o distanță dată este aceeași, indiferent de distanță. Aceeași lumină totală ne vine de la stele aflate la două sute de ani lumină ca și de la cele care se găsesc la o sută de ani lumină.

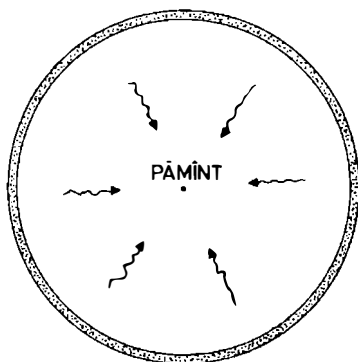


FIGURA 2.2 Paradoxul lui Olbers. Imaginați-vă un univers care nu se schimbă, populat de stele împrăștiat la întâmplare, cu o densitate medie uniformă. Este arătată o selecție de stele ocupînd un înveliș sferic, subțire al spațiului centrat pe Pămînt. (Stelele din afara învelișului au fost omise din desen.) Lumina stelelor din acest înveliș contribuie la fluxul total de lumină stelară ce cade pe Pămînt. Intensitatea luminii de la o anumită stea va diminua cu pătratul razei învelișului. Totuși, numărul total de stele din cadrul învelișului va crește proporțional cu pătratul razei învelișului. De aceea acești doi factori se anulează reciproc și luminozitatea totală a învelișului este *independentă* de raza sa. Într-un univers infinit vor exista o infinitate de învelișuri și — în aparență — un flux infinit de lumină ce va ajunge la Pămînt.

Problema începe atunci cînd adunăm lumina de la toate stelele aflate la orice distanță posibilă. Dacă uni-

versul nu are margini, ar putea să nu existe nici o limită la cantitatea de lumină primită de Pămînt. Deci, departe de a fi negru, cerul ar trebui să fie noaptea infinit de strălucitor!

Problema se ameliorează oarecum cînd luăm în considerare mărimea finită a stelelor. Cu cît o stea este mai depărtată de Pămînt, cu atît ea pare mai mică. O stea mai apropiată va întuneca pe una mai depărtată, dacă ele se află pe aceeași linie de vedere. Într-un univers infinit aceasta se va întîmpla foarte des și, luînd acest lucru în considerație, concluzia calculului inițial se schimbă. În locul unui flux infinit de lumină ce sosește pe Pămînt, fluxul este numai foarte mare, aproximativ echivalent discului solar care umple cerul, așa cum s-ar întîmpla dacă Pămîntul s-ar afla la aproximativ un milion de mile de suprafața soarelui. Aceasta ar fi, într-adevăr, o poziție foarte neconfortabilă; de fapt, Pămîntul ar fi vaporizat rapid de imensa căldură.

Concluzia că universul infinit ar trebui să fie un furnal cosmic este o reformulare a problemei termodinamicii pe care am discutat-o mai devreme. Stelele împrăstie căldură și lumină în spațiu și această radiație se acumulează încet în spațiul gol. Dacă stelele ar arde veșnic, ar părea la prima vedere că radiația ar trebui să aibă o intensitate infinită. Dar unele radiații vor lovi, în timp ce călătoresc prin spațiu, alte stele și vor fi reabsorbite. (Aceasta este echivalent cu a observa că stelele mai apropiate le întunecă pe cele mai depărtate.) De aceea, intensitatea radiației va crește pînă cînd se stabilește un echilibru între rata de emisie și cea de absorbție. Această stare de echilibru termodinamic va avea loc cînd radiația în spațiu ajunge la aceeași temperatură cu a suprafeței stelelor — cîteva mii de grade. Astfel, întregul univers ar trebui să fie plin de radiație termică la o temperatură de mai multe mii de grade,

iar cerul nopții, în loc să fie negru, ar fi fosforescent la această temperatură.

Heinrich Olbers a propus o rezolvare a propriului său paradox. Avînd în vedere existența unei mari cantități de praf în univers, el a sugerat că acest material ar absorbi cea mai mare parte a luminii stelelor și astfel cerul s-ar întuneca. Din nefericire, această idee, deși foarte imaginativă, a fost fundamental greșită. Praful s-ar încălzi în cele din urmă și ar începe să strălucească cu aceeași intensitate ca și radiația absorbită.

O altă posibilă rezolvare este să abandonăm supoziția că universul este infinit ca întindere. Să ne închipuim deci că stelele sînt numeroase, dar în număr finit, astfel că universul este format dintr-o mulțime uriașă de stele înconjurate de un spațiu gol întunecat și infinit; atunci, cea mai mare parte din lumina stelelor se va scurge în spațiul de dincolo de ele și va fi pierdută. Dar și această simplă gîndire are o fisură fatală, cunoscută și deja familiară lui Isaac Newton în secolul al XVII-lea. Problema privește natura gravitației. Orice stea atrage fiecare altă stea cu o forță de gravitație. De aceea toate stelele din mulțime ar fi tentate să cadă împreună și să se adune către centrul de gravitație. Astfel, dacă universul are un centru definit și o margine, atunci el ar trebui să se prăbușească în el însuși. Un univers care nu se poate susține, finit și static este instabil și supus colapsului gravitațional.

Această problemă gravitațională va reveni mai târziu în povestirea mea. Aici trebuie să vorbim despre modul ingenios în care Newton a abordat problema. Universul se poate prăbuși către centrul său de gravitație, a raționat Newton, numai dacă are un astfel de centru. Dacă universul este infinit ca întindere cît și (în medie) uniform populat cu stele, atunci nu există nici centru, nici margine. O anumită stea va fi respinsă pe orice

drum de numeroasele vecine care o înconjoară ca într-o luptă gigantică în care fiecare frînghie trage în altă direcție. În medie, toate aceste forțe se vor anula una pe alta și steaua va sta pe loc.

Deci, dacă acceptăm raționamentul lui Newton despre paradoxul colapsării cosmosului, revenim la un univers infinit și la problema paradoxului lui Olbers. Se pare că trebuie să acceptăm ori pe una, ori pe alta. Dar, cu oarecare înțelepciune, putem găsi o cale printre spinii dilemei. Nu este greșită presupunerea că universul este infinit în *spațiu*, ci presupunerea că este infinit în *timp*. Paradoxul cerului în flăcări s-a pus, deoarece astronomii au presupus că universul nu se schimbă, că stelele sînt statice și au ars cu o intensitate nediminuată dintotdeauna. Dar acum știm că amîndouă aceste presupuneri sînt greșite. În primul rînd, după cum am să explic pe scurt, universul nu este static, ci în expansiune. În al doilea rînd, nu se poate ca stelele să fi strălucit dintotdeauna, pentru că și-ar fi epuizat de mult combustibilul. Faptul că ele strălucesc acum este o dovadă că universul a început să existe cu o perioadă finită de timp în urmă.

Dacă universul are o vîrstă finită, paradoxul lui Olbers cade imediat. Pentru a vedea de ce, să analizăm cazul unei stele foarte îndepărtate. Deoarece lumina călătorește cu o viteză finită (300 000 km pe secundă în vid), noi nu vedem steaua așa cum este azi, ci cum a fost atunci cînd lumina a plecat de la ea. De exemplu, strălucitoarea stea Betelgeuse este situată la aproximativ 650 ani lumină depărtare, așa încît noi o vedem așa cum a fost acum 650 ani. Dacă universul ar fi început să existe, să zicem, acum zece miliarde de ani, înseamnă că nu am vedea nici o stea care se află la mai mult de zece miliarde de ani lumină depărtare de Pămînt. Universul ar putea fi infinit în spațiu, dar dacă are o vîrstă

finită, rezultă că noi nu putem vedea dincolo de o anumită distanță finită. Deci acumularea luminilor unui număr infinit de stele de *vîrstă* finită va fi finită și posibil nesemnificativ de mică.

Aceeași concluzie reiese și din considerații termodinamice. Timpul necesar stelelor pentru a umple spațiul cu radiație termică și a ajunge la o temperatură comună este imens pentru că este atît de mult spațiu gol în univers. Pur și simplu nu a fost timp suficient de la începutul universului pentru a se fi ajuns la un echilibru termodinamic pînă acum.

Toate acestea pun în evidență faptul că universul are o viață limitată. El a început să existe cu o perioadă finită de timp în urmă, își continuă activitatea, dar, inevitabil, va merge către o moarte termică, odată, în viitor. Se ivesc imediat o mulțime de întrebări. Cînd va veni sfîrșitul? Ce formă va avea el? Va fi încet sau brusc? Și este totuși de conceput că ideea morții termice a universului, așa cum o înțeleg de obicei oamenii de știință, se poate dovedi a fi greșită?

Primele trei minute

Cosmologii, ca și istoricii, înțeleg existența cheii viitorului în trecut. În capitolul precedent am explicat cum legile termodinamicii sugerează un univers cu o longevitate limitată. Este unanim acceptată pentru savanți ideea că originea întregului cosmos se află în explozia inițială de acum circa 10–20 miliarde de ani și că acest eveniment a așezat universul pe drumul destinului său final. Luînd în considerare cum a început universul și cercetînd procesele ce au avut loc în faza lui primară, pot fi adunate indicii importante privind viitorul său.

Ideea că universul nu a existat dintotdeauna este adînc înrădăcinată în cultura Occidentului. Deși filozofii greci aveau în vedere posibilitatea unui univers etern, toate religiile importante ale Occidentului au susținut faptul că universul a fost creat de Dumnezeu într-un anumit moment din trecut.

Eventualitatea unei origini bruște printr-o explozie inițială se impune din punct de vedere științific. Cea mai directă dovadă vine de la studiul calității luminii de la galaxiile foarte îndepărtate. În anii '20, astronomul american Edwin Hubble, urmărind observațiile minuțioase ale lui Vesto Slipher, un expert în nebuloase

care a lucrat la observatorul Flagstaff, în Arizona, și-a dat seama că galaxiile mai îndepărtate apar ușor mai roșii la culoare decât cele mai apropiate. Hubble a folosit telescopul de 100 inch de la Mount Wilson pentru a măsura această înroșire cu grijă și a trasat un grafic. A găsit că fenomenul este sistematic: cu cât o galaxie este mai depărtată de noi, cu atât ne apare mai roșie.

Culoarea luminii este legată de lungimea de undă. În spectrul luminii albe albastrul este la sfârșitul undelor scurte, iar roșul se găsește la sfârșitul undelor lungi. Colorarea în roșu a galaxiilor foarte îndepărtate arată că lungimea de undă a luminii lor a fost cumva mărită. Determinînd cu grijă pozițiile liniilor caracteristice în spectrele multor galaxii, Hubble a putut să confirme acest efect. El a arătat că alungirea undelor de lumină se datorează faptului că universul este în expansiune. Cu această declarație memorabilă, Hubble a pus bazele cosmologiei moderne.

Natura universului în expansiune a derutat pe multă lume. Din punctul de vedere al Pămîntului, s-ar părea că galaxiile îndepărtate fug de noi. Totuși, aceasta *nu* înseamnă că Pămîntul stă în centrul universului; modelul expansiunii este (în medie) același peste tot în univers. Orice galaxie — sau mai bine-zis orice roi de galaxii — se îndepărtează față de oricare alta. Acest lucru este mai bine ilustrat de creșterea spațiului *între* galaxii, decât de mișcarea roiurilor galactice *prin* spațiu.

Faptul că spațiul se poate dilata ar părea surprinzător, dar este un concept ce a fost cunoscut oamenilor de știință încă din 1915, cînd Einstein și-a publicat teoria generală a relativității. Teoria susține faptul că gravitația este de fapt o manifestare a curbării sau deformării spațiului (strict spațio-temporal). Într-un anumit sens, spațiul este elastic și se poate strînge sau

dilata într-o manieră ce depinde de proprietățile gravitaționale ale materialului conținut. Ideea aceasta a fost din plin confirmată de observații.

Conceptul de bază al expansiunii spațiului poate fi înțeles cu ajutorul unei analogii simple. Închipuiți-vă un șir de nasturi, reprezentînd roiuri galactice, cusuți pe o sfoară de elastic (v. fig. 3.1). Acum presupuneți că întindeți sfoara, trăgînd de capete. Toți nasturii se deplasează unii față de alții. Orice nasture ați lua ca punct de reper, cei vecini par că se îndepărtează de el. Totuși, expansiunea este aceeași peste tot; nu există nici un centru privilegiat. Bineînțeles, așa cum am descris-o eu, *există* un nasture central, dar acest lucru este irelevant pentru modul în care are loc expansiunea sistemului. Am putea elimina acest detaliu dacă sfoara cu nasturi ar fi infinit de lungă sau s-ar închide într-un cerc.

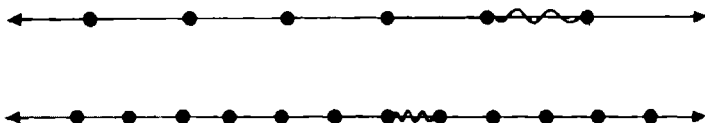


FIGURA 3.1 Un model unidimensional de univers în expansiune. Nasturii reprezintă roiurile galactice, iar sfoara elastică reprezintă spațiile. Pe măsură ce sfoara se întinde, nasturii se depărtează unii de alții. Întinderea folosește pentru a mări lungimea de undă a unei ce se propagă de-a lungul sforii. Aceasta corespunde deplasării spre roșu a luminii descoperită de Hubble.

Văzuți de la oricare dintre nasturi, vecinii cei mai apropiați ar părea că se îndepărtează cu o viteză egală cu jumătate din cea a următorilor și așa mai departe. Cu cît un nasture este mai departe de reperul central, cu atît

el se depărtează mai repede. În acest mod de expansiune viteza îndepărtării este *proporțională* cu distanța — o relație de o deosebită importanță. Înarmați cu această imagine, putem să ne închipuim acum undele luminoase călătorind printre nasturi, sau roiuri galactice, în spațiul în expansiune. Cum spațiul se întinde, se îndepărtează și undele. Aceasta explică deplasarea cosmologică spre roșu. Hubble a descoperit faptul că deplasarea spre roșu este proporțională cu distanța, exact așa cum tocmai am ilustrat în simpla analogie pe care am prezentat-o.

Dacă universul se află în expansiune, înseamnă că el trebuie să fi fost mai mic în trecut. Observațiile lui Hubble și cele mult îmbunătățite făcute ulterior ne dau o măsură a *ratei* expansiunii. Dacă am putea „să derulăm înapoi filmul cosmic” am găsi toate galaxiile contopindu-se în trecutul îndepărtat. Din cunoașterea ratei expansiunii actuale am putea deduce că acest stadiu de contopire trebuie să fi avut loc cu multe miliarde de ani în urmă. Totuși este greu să precizăm cu exactitate când, din două motive. În primul rînd măsurătorile sînt greu de făcut cu precizie și sînt supuse la o mulțime de erori posibile. Deși telescoapele moderne au mărit cu mult numărul de galaxii studiate, rata expansiunii este încă neclară pînă la un factor sau doi și este subiectul unei vii controverse. În al doilea rînd, măsura în care universul se extinde nu poate rămîne constantă în timp. Aceasta se datorează forței de gravitație care acționează între galaxii și desigur între orice forme de materie și energie din univers. Gravitația acționează ca o frînă care reține galaxiile din fuga lor spre exterior. În consecință, rata expansiunii scade treptat în timp. Rezultă că universul trebuie să se fi extins mai repede în trecut decît o face astăzi. Dacă trasăm un grafic al măsurii unei anume regiuni a universului în funcție de timp,

găsim o curbă a formei generale indicate în fig. 3.2. Din acest grafic ne dăm seama că universul a fost mai întâi foarte comprimat, s-a extins foarte repede și în timp densitatea materiei a tot scăzut o dată cu creșterea volumului universului. Dacă graficul este adus înapoi la început (cota 0 în figură), aceasta sugerează că universul a început cu o măsură *zero* și o rată *infinită* a expansiunii. Cu alte cuvinte, materialul din care sînt făcute toate galaxiile pe care le vedem astăzi a apărut dintr-un singur punct explodînd rapid! Aceasta este o descriere idealizată a așa-numitei explozii inițiale.

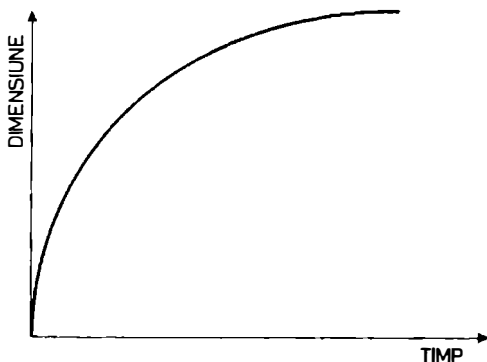


FIGURA 3.2 Rata expansiunii universului descrește constant cu timpul, aproximativ în maniera arătată. În acest model simplu, rata expansiunii este infinită în punctul marcat cu zero pe axa timpului. Acest punct corespunde exploziei inițiale.

Dar sîntem oare îndreptățiți să extrapolăm curba înapoi, către început? Mulți cosmologi cred că da. Dat fiind faptul că ne așteptăm ca universul să fi avut un început (pentru motivele pe care le-am discutat în capitolul precedent), explozia inițială pare a fi fost asta. Dacă este așa, atunci începutul curbei marchează mai mult decît doar o explozie. Să ne reamintim că expan-

siunea figurată pe grafic este a *spațiului însuși*, astfel încât un volum zero nu înseamnă numai că materia este comprimată la o densitate infinită. Înseamnă că *spațiul* este comprimat pînă la nimic. Cu alte cuvinte, explozia inițială este originea spațiului, cît și a materiei și energiei. Este foarte important să realizăm că, după această imagine, nu a fost un vid preexistent în care să fi avut loc explozia inițială.

Aceeași idee de bază se aplică și timpului. Densitatea infinită a materiei și comprimarea infinită a spațiului marchează o limită a timpului. Motivul este că timpul, ca și spațiul, este dilatat de gravitație. Din nou, acest efect este o consecință a teoriei generale a relativității a lui Einstein și a fost direct verificată experimental. Condițiile de la explozia inițială implică o deformare *infinită* a timpului, astfel încât însuși conceptul de timp (și spațiu) nu poate fi extins înapoi dincolo de explozia inițială. Concluzia care pare să se impună în fața noastră este că explozia inițială a fost însuși începutul tuturor lucrurilor fizice: spațiu, timp, materie și energie. Este evident lipsit de sens să ne întrebăm (și multă lume o face) ce s-a întîmplat înainte de explozia inițială sau ce a făcut ca explozia să aibă loc. *Nu* a existat un înainte. Și acolo unde nu există timp, nu poate exista nici cauzalitate în sensul obișnuit.

Dacă teoria exploziei inițiale, cu ciudatele sale implicații asupra originii cosmice, s-ar baza numai pe dovada expansiunii universului, probabil că mulți cosmologi ar respinge-o. Totuși o altă dovadă importantă în susținerea teoriei a apărut în 1965 o dată cu descoperirea că universul este scăldat în radiație termică. Această radiație vine la noi din spațiu cu aceeași intensitate în toate direcțiile cerului și a călătorit aproximativ nemodificată de la scurt timp după explozia inițială. Aceasta furnizează deci un instantaneu al stării

universului primordial. Aspectul radiației remanente este asemănător ca strălucire cu cel din interiorul unui furnal care a ajuns la o stare de echilibru termodinamic, o formă de radiație cunoscută fizicienilor sub numele de radiație a „corpului negru”. Sîntem astfel conduși la concluzia că universul timpuriu a fost o dată într-o asemenea stare de echilibru, cu toate regiunile la aceeași temperatură.

Măsurătorile radiației termice de fond arată că ea are aproximativ trei grade peste zero absolut (zero absolut este aproximativ -273°C), dar temperatura se schimbă încet cu timpul. Atunci cînd universul se extinde, el se răcește după o formulă simplă: la dublarea razei temperatura se înjumătățește. Această răcire are același efect ca deplasarea spre roșu a luminii; atît radiația termică, cît și lumina sînt unde electromagnetice și lungimea de undă a radiației termice, de asemenea, crește o dată cu expansiunea universului. Radiația de temperatură scăzută are unde mai lungi (în medie) decît cea cu o temperatură înaltă. Din nou, derulînd filmul înapoi, vedem că universul trebuie să fi fost mult mai cald în trecut.

Radiația însăși datează cam de la 300 000 de ani după explozia inițială cînd universul se răcise la o temperatură de aproximativ 4000°C . Înainte de aceasta, gazul primordial, constînd în primul rînd din hidrogen, era o plasmă ionizată și de aceea opacă la radiația electromagnetică. O dată cu scăderea temperaturii, plasma s-a transformat în gazul hidrogen (neionizat), care este transparent, permițînd radiației să se miște nestingherită prin el.

Radiația cosmică de fond este caracteristică nu numai pentru spectrul său de forma radiației corpului negru, dar și pentru uniformitatea sa de-a lungul cerului. Temperatura radiației variază numai cu 1 la 100 000 în

diferite direcții ale spațiului. Această netezime indică faptul că universul trebuie să fie foarte omogen pe scară mare, o dată ce orice îngrămădire sistematică de materie într-o anumită regiune a spațiului sau de-a lungul unei anumite direcții s-ar face simțită printr-o variație de temperatură. Pe de altă parte, știm că universul nu este complet uniform. Materia este agregată în galaxii, iar galaxiile formează în general roiuri. Acestea la rândul lor se unesc în superroiuri. La scara mai multor milioane de ani lumină, universul are un fel de structură spumoasă cu goluri uriașe, înconjurate de fișii și bucăți de galaxii.

Uriașa scară a roiurilor din univers trebuie să fi crescut într-un anume fel dintr-un stadiu originar mai neted. Deși multe mecanisme fizice par a fi fost responsabile pentru aceasta, cea mai plauzibilă explicație pare a fi o atracție gravitațională înceată. Dacă teoria exploziei inițiale este corectă, ne-am aștepta să vedem vreo dovadă a stadiilor inițiale în procesul de formare a roiurilor, imprimată în radiația cosmică de fond. În 1992, un satelit de la NASA numit COBE (de la „Cosmic Background Explorer” — exploratorul radiației cosmice de fond) a arătat că radiația nu este chiar uniformă, netedă, dar conține, fără posibilități de eroare, și pulsații sau variații ale intensității de la un loc la altul din cer. Aceste mici neregularități par a fi începutul lin al unor procese de formare a superroiurilor. Radiația a păstrat cu fidelitate patina aglomerărilor primordiale de-a lungul timpului și demonstrează grafic că universul nu a fost totdeauna structurat în modul caracteristic în care îl vedem azi. Acumularea materiei în galaxii și stele este un larg proces evolutiv, care a început cu universul într-un stadiu uniform aproape perfect.

Aceasta este o ultimă dovadă care confirmă teoria originii fierbinți și dense a cosmosului. Cunoscând tem-

peratura radiației calorice astăzi, este ușor de calculat faptul că la aproximativ o secundă după început universul ar fi avut o temperatură de circa zece miliarde de grade. Era mult prea fierbinte ca să existe nuclee atomice compuse. La acel moment materia trebuie să fi fost descompusă în cele mai elementare componente ale sale, formînd un amestec de particule elementare cum sînt protonii, neutronii și electronii. Totuși, cînd acest amestec s-a răcit, reacțiile nucleare au devenit posibile. Mai ales, neutronii și protonii erau liberi să se unească în perechi și aceste perechi să se combine una cu alta formînd nuclee de heliu. Calculele arată că activitatea nucleară a durat aproximativ trei minute (de unde și titlul cărții lui Steven Weinberg), timp în care aproximativ un sfert din masa de materie a fost transformată în heliu. Acest proces a utilizat efectiv toți neutronii disponibili. Protonii rămași și neîntrați în combinații erau destinați să devină nuclee de hidrogen. Teoria susține de aceea că universul ar trebui să fie format din circa 75 procente hidrogen și 25 procente heliu. Cifrele corespund cu măsurătorile actuale, în ce privește abundența acestor elemente în cosmos.

Reacțiile nucleare primordiale au produs probabil și foarte mici cantități de deuteriu, heliu-3 și litiu. Totuși elementele grele, care în totalitate constituie mai puțin de un procent din materia cosmică, nu au fost produse în explozia inițială. Ele s-au format mult mai tîrziu, în interiorul stelelor, într-un mod pe care am să-l discut în capitolul 4.

Luate împreună, expansiunea universului, radiația cosmică de fond și relativa abundență a elementelor chimice reprezintă o dovadă puternică în sprijinul teoriei exploziei inițiale. Rămîn însă multe întrebări fără răspuns. De ce, de exemplu, se extinde universul exact cu viteza cu care o face — cu alte cuvinte, de

ce a fost explozia inițială atît de mare? De ce erau universul timpuriu atît de uniform și rata expansiunii atît de asemănătoare în toate direcțiile și toate regiunile spațiului? Care este originea micilor fluctuații de densitate descoperite de COBE și care sînt atît de importante pentru formarea galaxiilor și roiurilor galactice?

În ultimii ani s-au făcut enorme eforturi pentru a încerca rezolvarea acestui „puzzle”, combinînd teoria exploziei inițiale cu ultimele idei despre fizica particulelor de energie înaltă. Această „nouă cosmologie” — trebuie să subliniez — se bazează pe o fundamentare științifică mai puțin sigură decît ceea ce am discutat pînă acum. În particular, procesele de interes implică energiile particulelor în exces considerabil față de toate cele care au fost observate în mod direct și epoca cosmică în care aceste procese au avut loc este o unică fracțiune de secundă după nașterea cosmică. Condițiile la acea vreme erau atît de extreme, încît singurul ghid disponibil în mod curent este modelarea matematică, bazată aproape în întregime numai pe idei teoretice.

O ipoteză centrală a noii cosmologii este posibilitatea unui proces numit inflație. Ideea de bază este că la un moment anume din timpul primei fracțiuni de secundă, universul a crescut, deodată, imens (inflație), cu un coeficient uriaș. Pentru a vedea ce înseamnă acest lucru, priviți din nou fig. 3.2. Curba se apleacă mereu în jos, indicînd faptul că în timp ce măsura oricărei regiuni din spațiu crește, aceasta are loc la o viteză în scădere. Prin contrast, în timpul inflației expansiunea de fapt *crește*. Situația este descrisă (nu la scară) în fig. 3.3. Inițial expansiunea încetinește, dar o dată cu inflația pornește rapid, iar curba o ia în sus pentru o scurtă perioadă de timp. În final, curba revine la normal, dar, între timp, dimensiunea regiu-

nilor din spațiu reprezentate grafic a crescut enorm (mult mai mult decît se arată acolo), comparativ cu poziția echivalentă de pe grafic arătată în fig. 3.2.

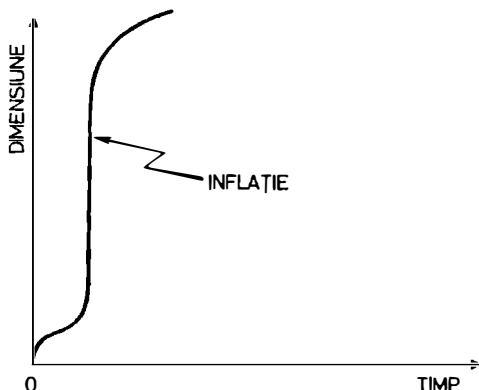


FIGURA 3.3 Scenariul inflaționist. În acest scenariu, universul este supus unui salt mare și brusc în dimensiune imediat după nașterea sa dintr-o explozie. Scara verticală este extrem de comprimată. Urmînd după faza inflaționistă, expansiunea are loc cu o rată în descreștere, așa cum se arată în fig. 3.2.

De ce să se comporte universul într-un mod atît de ciudat? Să ne amintim că partea coborîtoare a curbei se datorează forței de gravitație care acționează ca o frînă pentru expansiune. O parte de sus a curbei, tot îndoită, poate fi privită de aceea ca o formă de antigravitație, sau forță de respingere, determinînd o creștere din ce în ce mai rapidă a universului. Deși antigravitația pare o posibilitate ciudată, unele teorii speculative recente sugerează faptul că un astfel de efect s-ar fi putut produce în condițiile extreme de temperatură și densitate predominante în universul primar.

Înainte de a discuta cum, dați-mi voie să vă explic de ce o fază inflaționistă ne ajută să rezolvăm unele din

întrebările anterioare. În primul rînd, creșterea expansiunii poate arăta foarte convingător de ce explozia inițială a fost atît de mare. Efectul antigravitațional este un proces instabil sau trecător, ceea ce înseamnă că mărimea universului crește exponențial. Din punct de vedere matematic, aceasta înseamnă că o regiune dată a spațiului se dublează după o anumită perioadă de timp. Să numim această perioadă o „clipă”. După două astfel de clipe, mărimea a crescut de patru ori, după trei clipe de opt ori, după zece clipe regiunea s-a mărit de peste o mie de ori. Calculul arată că rata expansiunii la sfîrșitul erei inflaționiste este în concordanță cu cea observată azi. (În capitolul 6 am să explic mai clar ce înțeleg prin aceasta.)

Uriașa creștere de mărime provocată de inflație ne furnizează și o explicație pentru uniformitatea cosmică. Orice neregularități inițiale ar fi netezite de dilatarea spațiului, asemănător cu modul de dispariție a pliurilor dintr-un balon cînd el este umflat. Astfel, orice variații timpurii în rata inflației în diferite direcții vor fi curînd preluate de inflație, care operează cu aceeași putere în toate direcțiile. În final, micile neregularități relevate de COBE ar putea fi atribuite faptului că inflația nu s-ar fi terminat peste tot la același moment (pentru motive ce vor fi discutate pe scurt), astfel unele regiuni s-ar fi dilatat puțin mai mult decît altele, producînd ușoare variații de densitate.

Să traducem totul în numere. În cea mai simplă versiune a teoriei inflaționiste, forța inflaționistă (anti-gravitație) se dovedește a fi extraordinar de puternică, determinînd universul să-și dubleze mărimea cam la fiecare a suta bilionime de bilionime de bilionime (10^{-34}) de secundă. Această durată infinitesimală de timp am numit-o noi o clipă. După doar o sută de „clipe”, o regiune de mărimea unui nucleu atomic ar fi

ajuns la mărimea de aproximativ un an lumină. Aceasta este mai mult decît suficient pentru a rezolva chestiunile ridicate anterior.

Mai multe mecanisme posibile, care ar putea să fi dus la această comportare inflaționistă, au fost descoperite cu ajutorul teoriilor fizicii particulelor subatomice. Toate aceste mecanisme folosesc un concept numit vid cuantic. Pentru a înțelege despre ce este vorba, trebuie mai întîi să știm cîte ceva despre fizica cuantică. Teoria cuantelor a început cu descoperirea privind natura radiației electromagnetice, cum ar fi căldura și lumina. Deși această radiație se propagă prin spațiu sub formă de unde, totuși ea se poate comporta uneori ca și cînd ar fi alcătuită din particule. În particular, emisia și absorbția de lumină au loc sub forma unor mici pachete (sau cuante) de energie, care se numesc fotoni. Acest amalgam ciudat de aspecte de undă și particulă, numit uneori dualitatea undă/particulă, s-a dovedit a se putea aplica tuturor entităților fizice la scară atomică și subatomică. Astfel, entitățile considerate de obicei a fi particule, cum ar fi electronii, protonii, neutronii și chiar atomii întregi, au în anumite condiții aspecte de undă.

O teză centrală a teoriei cuantelor este principiul incertitudinii (nedeterminării) al lui Werner Heisenberg, conform căruia obiectele cuantice nu au valori bine definite pentru toate caracteristicile lor. De exemplu, un electron nu poate avea, în același timp, și o poziție definită și un moment definit. De asemenea, nu poate avea o valoare definită a energiei la un moment definit de timp. Incertitudinea în valoarea energiei ne interesează acum. Pe cîtă vreme, în lumea macroscopică a tehnicii, energia se conservă întotdeauna (ea nu poate fi nici creată, nici distrusă), în domeniul lumii subatomice a cuantelor această lege poate fi suspendată. Energia se poate schimba, în mod spontan și impre-

vizibil, de la un moment la altul. Cu cît intervalul considerat este mai mic, cu atît mai mari vor fi aceste fluctuații cuantice întîmplătoare. Într-adevăr, particula poate împrumuta energie de nicăieri, ca să zicem așa, atît timp cît împrumutul este înapoiat cu promptitudine. Forma matematică precisă a principiului incertitudinii al lui Heisenberg cere ca un împrumut mare de energie să fie restituit imediat, în timp ce restituirea unuia mai mic poate dura mai mult.

Incetitudinea energiei conduce la efecte ciudate. Printre acestea este și posibilitatea ca o astfel de particulă, un foton de exemplu, să apară la un moment dat din nimic, doar pentru a dispărea puțin mai tîrziu. Aceste particule trăiesc din energia împrumutată, așadar cu timp împrumutat. Noi nu le vedem pentru că apariția lor este efemeră, dar ceea ce noi numim un spațiu gol este în realitate plin de o mulțime de astfel de particule cu existență efemeră, nu numai fotoni, dar și electroni, protoni și altele. Pentru a distinge aceste particule temporare de cele permanente, mai familiare, primele sînt numite „virtuale”, în timp ce ultimele se numesc „reale”.

În afară de natura lor temporară, particulele virtuale sînt la fel cu cele reale. De fapt, dacă destulă energie este suplinită într-un fel sau altul din afara sistemului, astfel încît să se poată achita împrumutul de energie din principiul lui Heisenberg, atunci se poate ca o particulă virtuală să devină una reală și dacă se întîmplă astfel ea nu poate fi distinsă de orice altă particulă reală de același fel. Un electron virtual, de exemplu, supraviețuiește tipic numai aproximativ 10^{-21} secunde. În timpul scurtei sale vieți, el nu se odihnește, ci poate călători pe o distanță de 10^{-11} cm (pentru comparație raza atomului este de circa 10^{-8} cm) înainte să dispară. Dacă electronul virtual primește energie în acest scurt

interval (să spunem de la un câmp electromagnetic), el nu mai are nevoie să dispară, ci își poate continua existența ca un electron perfect normal.

Deși nu le putem vedea, știm că aceste particule virtuale sînt „într-adevăr acolo” în spațiul gol, pentru că lasă o urmă detectabilă a activității lor. Un efect al fotonilor virtuali, de exemplu, este de a produce o schimbare ușoară a nivelurilor de energie ale atomilor. Ei cauzează, de asemenea, o foarte mică schimbare în momentul magnetic al electronilor. Aceste variații foarte mici, dar semnificative, au fost măsurate cu acuratețe folosind tehnici spectroscopice.

Imaginea simplă a vidului cuantic, zugrăvită mai sus, se modifică dacă luăm în considerare faptul că particulele subatomice nu se mișcă liber în general, ci sînt supuse la o multitudine de forțe, tipul forței depinzînd de tipul de particule considerat. Aceste forțe acționează și între particulele virtuale. Rezultă deci că există mai mult decît un singur tip de stare de vid. Existența mai multor posibile „stări cuantice” este o trăsătură caracteristică a fizicii cuantice. Cel mai bine cunoscute sînt diferitele niveluri de energie ale atomilor. Aici, un electron care orbitează în jurul nucleului atomic poate exista în anumite stări bine definite cu energii definite. Cel mai de jos nivel se numește stare de bază și este stabil. Niveluri mai înalte sînt stări excitate și sînt instabile. Dacă un electron este aruncat într-o stare superioară, el va face una sau mai multe tranziții în jos, înapoi la starea de bază. Starea de excitație are o jumătate de viață bine definită pentru a „se dezintegra”.

Principii asemănătoare se aplică vidului, care poate avea una sau mai multe stări de excitație. Aceste stări ar avea energii foarte diferite, deși ar trebui să arate la fel, adică goale. Cea mai mică energie, sau nivelul de bază, se cheamă uneori vid „adevărat”, reflectînd faptul

că e starea stabilă și probabil cea care corespunde regiunilor goale ale universului așa cum se observă astăzi. Un vid cu stare de excitație se numește un vid „fals“.

Ar trebui subliniat că vidul fals rămîne o idee pur teoretică, iar proprietățile sale depind foarte mult de teoria invocată. Ele apar în mod natural, în toate teoriile recente care aspiră să unifice patru forțe fundamentale ale naturii: gravitația și electromagnetismul, familiare din viața de zi cu zi, și două forțe nucleare de domeniu îngust numite forța slabă și forța tare. Lista era mai lungă: electricitatea și magnetismul erau o dată privite ca distincte.

Procesul de unificare a început în perioada timpurie a secolului al XIX-lea și a avansat mult în ultimele decenii. Este acum cunoscut că forțele electromagnetice și forțele nucleare slabe sînt legate și formează o singură forță „electroslabă“. Mulți fizicieni cred că forța puternică se va dovedi a fi legată de cea electroslabă, o asociație descrisă într-o formă sau alta de așa-numitele mari teorii unificate. S-ar putea întîmpla foarte bine ca toate cele patru forțe să se unească într-o singură superforță la un nivel destul de adînc.

Cel mai promițător candidat pentru un mecanism inflaționist este prezis de diferitele mari teorii unificate. O trăsătură cheie a acestor teorii este că energia vidului fals este uluitoare: un centimetru cub de spațiu ar conține 10^{87} jouli! Chiar un volum atomic într-o astfel de stare ar conține 10^{62} jouli. Comparați aceasta cu bieții 10^{-18} jouli sau cam așa ceva pe care-i posedă un atom excitat. Deci ar trebui multă energie pentru a excita vidul adevărat și nu ne-am aștepta să întîlnim un vid fals în universul de azi. Pe de altă parte, dat fiind condițiile extreme ale exploziei inițiale, aceste cifre sînt plauzibile.

Imensa energie asociată stării de vid fals are un puternic efect gravitațional. Așa cum arată Einstein, acest

lucru se datorează faptului că energia are masă și de aceea exercită atracție gravitațională exact ca orice materie normală. Enorma energie a vidului cuantic are o mare forță de atracție: energia unui centimetru cub de vid fals ar cântări 10^{64} tone, ceea ce este mai mult decît întregul univers observabil astăzi (circa 10^{50} tone)! Această colosală gravitație nu ajută în producerea inflației, un proces care cere un anume fel de *anti-gravitație*. Totuși, imensa energie a vidului fals este asociată cu o la fel de imensă *presiune* și tocmai de această presiune era nevoie. În mod normal nu ne gîndim la presiune ca o sursă de gravitație, dar ea este o astfel de sursă. Deși presiunea exercită o forță mecanică exterioară, ea induce o creștere a forței gravitaționale interioare. În cazul corpurilor obișnuite, efectul gravitațional al presiunii este neglijabil în comparație cu cel al masei corpului lor. De exemplu, mai puțin de a miliarda parte din greutatea corpului nostru pe Pămînt se datorează presiunii interne a Pămîntului. Totuși efectul presiunii este real și într-un sistem unde presiunea atinge valori extreme, efectul gravitațional al presiunii poate rivaliza cu cel al masei.

În cazul vidului fals, există *atît* o uriașă energie *cît* și o la fel de uriașă presiune care se iau la întrecere pentru dominația gravitațională. Proprietatea crucială este totuși faptul că presiunea este *negativă*. Vidul fals nu împinge: el atrage. O presiune negativă produce un efect gravitațional negativ, ceea ce înseamnă că *antigravitează*. Astfel, acțiunea gravitațională a vidului fals implică o competiție între uriașul efect de atracție al energiei sale și uriașul efect de respingere datorat presiunii sale negative. Se dovedește că presiunea învinge și ca efect se creează o forță de respingere atît de mare, încît poate spulbera universul într-o fracțiune de secundă. Acest impuls inflaționist a deter-

minat universul să-și dubleze mărimea la fiecare 10^{-34} secunde.

Vidul fals este în mod intrinsec instabil. Ca orice stare cuantică excitată, el dorește să se dezintegreze către starea de bază — adevăratul vid. Și probabil că o face după câteva duzini de trucuri. Fiind un proces cuantic, el este supus nedeterminismului inevitabil și fluctuațiilor întâmplătoare discutate înainte în legătură cu principiul incertitudinii (nedeterminării) al lui Heisenberg. Asta înseamnă că dezintegrarea nu se va produce în mod uniform în întregul spațiu: vor fi fluctuații. Unii teoreticieni sugerează că aceste fluctuații pot fi sursa fluctuațiilor lui COBE.

Cînd vidul fals s-a dezintegrat, universul își reia expansiunea normală în scădere. Energia care a fost înmagazinată în vidul fals este eliberată, apărînd sub formă de căldură. Uriașa dilatare produsă de inflație răcise universul la o temperatură foarte apropiată de zero absolut; brusc încheierea inflației îl încălzește din nou pînă la uriașa valoare de 10^{28} grade. Acest vast rezervor de căldură dăinuie și astăzi sub formă foarte diminuată, ca radiație cosmică termică de fond. Un produs auxiliar al acestei eliberări de energie este faptul că multe particule virtuale din vidul cuantic primesc o parte din ea și devin particule reale. După alte procese și schimbări, ceea ce a rămas din aceste particule primare formează 10^{50} tone de materie ce ne alcătuiesc pe tine, pe mine, galaxia și restul universului observabil.

Dacă scenariul inflaționist este pe drumul cel bun — și mulți specialiști de frunte în cosmologie cred că da — atunci structura de bază și conținutul fizic al universului erau determinate prin procesele ce erau complete după scurgerea a numai a 10^{-32} -a parte dintr-o secundă. Universul postinflaționist a mai suferit multe

modificări ulterioare la nivelul subatomic când materialul primar s-a transformat în particule și atomi care alcătuiesc materialul cosmic din epoca noastră, dar cea mai mare parte a procesului de formare a materiei a fost terminată cam în primele trei minute.

Cum se leagă primele trei minute de ultimele? Așa cum soarta unui glonț tras către o țintă depinde de direcția armei, tot astfel soarta universului depinde de condițiile sale inițiale. Vom vedea cum felul în care universul a evoluat de la origine, precum și natura materialului rezultat din explozia inițială ne folosesc pentru a-i determina viitorul. Începutul și sfârșitul universului sînt adînc legate între ele.

Destinul stelelor

În noaptea de 23–24 februarie 1987 un astronom canadian numit Ian Shelton lucra la observatorul din Las Campas de pe înălțimile Anzilor Chilieni. Un asistent chilian în tura de noapte s-a strecurat ușor afară, privind la cerul întunecat al nopții. Fiind familiarizat cu acest peisaj, el a remarcat repede ceva neobișnuit. La marginea fișiei nebuloase de lumină care este galaxia Norul Mare al lui Magellan (NMM) se găsea o stea. Nu era foarte strălucitoare — cam de aceeași magnitudine cu cele din Brîul lui Orion. Ceea ce era semnificativ pentru ea era faptul că nu fusese acolo cu o zi înainte.

Asistentul i-a atras atenția lui Ian Shelton asupra obiectului și în interval de câteva ore, vestea s-a răspândit în toată lumea. Shelton și asistentul său chilian descoperiseră o supernovă. Era primul astfel de obiect vizibil cu ochiul liber după cel din 1604 înregistrat de Johannes Kepler. Astronomii din mai multe țări și-au îndreptat imediat telescoapele către Norul Mare al lui Magellan. În lunile următoare comportarea supernovei 1987 A a fost studiată în cele mai mici detalii.

Cu câteva ore înainte ca Shelton să facă senzaționala sa descoperire, un alt eveniment neobișnuit a fost înregistrat într-un loc foarte diferit — într-o mină de zinc

din Kamioka, adînc în interiorul Pămîntului japonez. Acesta a fost locul unui experiment de lungă durată condus de fizicieni, avînd un scop ambițios. Ţelul lor a fost să testeze stabilitatea finală a unuia din componenții de bază ai materiei — protonii. Marile teorii unificate dezvoltate în anii '70 preconizează că protonii ar putea fi *foarte* ușor instabili, dezintegrîndu-se uneori într-o variantă specială de radioactivitate. Dacă acest lucru este așa, el va avea profunde implicații asupra sorții universului, așa cum vom vedea într-un capitol ulterior.

Pentru a testa dezintegrarea protonului, experimenterii japonezi umpluseră un rezervor cu 2 000 tone de apă ultrapură și așezaseră detectoare de fotoni foarte sensibile în jurul lui. Sarcina acestor detectoare consta în a înregistra fasciculele de lumină ascunse ce puteau fi atribuite produselor cu viteză înaltă ale evenimentelor individuale de descompunere. Experimentul trebuia să se producă într-un loc subteran pentru a reduce efectul radiației cosmice care altfel ar fi înundat detectoarele cu date false.

Pe 22 februarie detectoarele din Kamioka au fost declanșate de nu mai puțin de unsprezece ori în tot atîtea secunde. În același timp, pe cealaltă parte a planetei, într-o mină de sare din Ohio, un detector similar înregistra opt astfel de evenimente. Cum sinuciderea simultană în masă a cîte nouăsprezece protoni era de neconceput, evenimentele trebuiau să aibă o altă explicație. Fizicienii au găsit-o curînd. Aparatura lor trebuia să fi înregistrat distrugerea protonilor printr-un alt proces, mai convențional: coliziunea cu neutrinii.

Neutrinii sînt particule subatomice care vor juca un rol important în povestea mea, de aceea merită să facem o pauză pentru a-i examina mai în detaliu. Existența lor a fost afirmată pentru prima oară în 1931 de Wolf-

gang Pauli, un specialist în fizică teoretică (născut în Austria), pentru a explica un aspect problematic al proceselor radioactive cunoscute sub numele de dezintegrare beta. Într-un proces tipic de dezintegrare beta, un neutron se dezintegrează într-un proton și un electron. Electronul, o particulă relativ ușoară, își ia zborul cu o energie considerabilă. Problema este că la fiecare dezintegrare electronul pare a avea o energie diferită, întrucâtva mai mică decât energia totală disponibilă din dezintegrarea neutronului. Deoarece energia totală este aceeași în toate cazurile, se pare că energia finală diferă față de cea inițială. Acest lucru nu se poate întâmpla, deoarece există o lege de bază a fizicii ce spune că energia se conservă, de aceea Pauli a sugerat că energia ce lipsește a fost luată de o particulă invizibilă. Încercările de pînă acum de a detecta aceste particule au eșuat, astfel încît a devenit clar că dacă ele există, atunci ar trebui să aibă o incredibilă putere de penetrare. Cum orice fel de particulă cu sarcină electrică ar fi prompt prinsă de materie, particula lui Pauli trebuia să fie neutră din punct de vedere electric — de acolo numele de „neutrino“.

Deși pînă la ora actuală nimeni nu a detectat un neutrino, fizicienii au fost capabili să-și imagineze cîteva din proprietățile lui. Una din aceste proprietăți privește masa neutrino-ului.

Conceptul de masă este subtil atunci cînd e vorba despre particule ce se mișcă foarte rapid. Aceasta pentru că masa unui corp nu este o cantitate fixă, ci depinde de viteza lui. De exemplu: o minge din plumb de 1 kg va cîntări 2 kg dacă se deplasează cu 260000 km pe secundă. Factorul-cheie este aici viteza luminii. Cu cît un obiect are viteza mai apropiată de viteza luminii, cu atît el devine mai masiv, iar această creștere de masă este fără limite. Deoarece masa variază astfel, atunci

cînd fizicienii vorbesc de masa unei particule subatomice, ei se referă la masa de repaus, pentru a evita confuzia. Dacă particula se deplasează cu o viteză apropiată de cea a luminii, masa sa reală poate fi egală cu de mai multe ori masa sa de repaus: în interiorul acceleratoarelor mari de particule, electronii și protonii pot avea masa de mii de ori mai mare decît cea de repaus. Un indiciu pentru valoarea masei de repaus a unui neutrino ne este dat de faptul că descompunerea beta va elibera uneori un electron împreună cu aproape întreaga energie disponibilă, nelăsînd mai nimic pentru neutrino. Aceasta înseamnă că neutrinii pot exista cu energie zero. Ținînd cont de faimoasa formulă a lui Eistein $E = mc^2$, energia E și masa m sînt echivalente, deci energie zero implică masă zero. Aceasta înseamnă că neutrino-ul pare să aibă o foarte mică masă de repaus, posibil zero. Dacă masa de repaus este într-adevăr zero, atunci neutrino-ul va călători cu viteza luminii. În orice caz, este foarte posibil să se constate că el călătorește cu o viteză foarte apropiată de cea a luminii.

O altă proprietate privește modul în care particulele subatomice se rotesc. Neutronii, protonii și electronii sînt mereu găsiți rotindu-se (mișcare de spin). Magnitudinea acestei rotații este o anumită cantitate fixă și de fapt aceeași pentru toți trei. Spinul este o formă de moment unghiular și există o lege a conservării momentului unghiular — o lege la fel de importantă ca și legea conservării energiei. Cînd un neutron se dezintegrează, spinul său trebuie să se conserve în produsele rezultate. Dacă electronul și protonul s-ar roti în aceeași direcție, vitezele lor de spin s-ar aduna pentru a face dublul vitezei neutronului. Pe de altă parte, dacă s-ar mișca în sens contrar, spinii s-ar neutraliza pentru a da un total zero. Oricum ar fi, spinul total al unui electron și unui proton singur nu ar putea fi egal cu

cel al neutronului. Totuși, dacă luăm în considerare existența neutrino-ului, lucrurile se pot echilibra socotind că neutrino-ul posedă același spin cu celelalte particule. Atunci două din cele trei produse provenite din descompunere pot să se rotească în aceeași direcție, în timp ce al treilea se rotește în sens contrar.

Astfel chiar fără a fi detectat vreodată un neutrino, fizicienii au fost capabili să deducă faptul că el trebuie să fie o particulă cu sarcină electrică zero, spin identic cu al electronului, masă de repaus mică sau nulă și o interacțiune atît de slabă cu materia obișnuită, încît nu lasă aproape nici o urmă a trecerii sale. Pe scurt, este un fel de fantomă rotitoare. Nu este surprinzător deci că au mai trecut aproape douăzeci de ani de cînd Pauli a presupus existența neutrinilor și pînă cînd ei au fost definitiv identificați în laborator. Ei sînt creați în cantități atît de mari în reactoarele nucleare încît, în ciuda proprietății lor de a fi insesizabili, este posibil să se detecteze ocazional cîte un reprezentant.

Sosirea unei explozii de neutrini în mina din Kamioka o dată cu apariția supernovei 1987 A nu putea fi o simplă coincidență și a fost interpretată de savanți ca o confirmare crucială a teoriei supernovei: ceea ce așteptau astronomii de mult de la o supernovă era exact o explozie de neutrini.

Deși cuvîntul „nova” înseamnă „nou” în limba latină, supernova 1987 A nu reprezintă nașterea unei stele noi. De fapt este moartea uneia bătrîne într-o explozie spectaculoasă. Marele Nor al lui Magellan, în care supernova a apărut, este o minigalaxie aflată la o depărtare de 170000 de ani lumină. Este destul de apropiată de Calea Lactee pentru a fi un fel de satelit al galaxiei noastre. Ea este vizibilă cu ochiul liber și apare ca o fîșie de lumină difuză în emisfera sudică, dar este nevoie de mari telescoape pentru a-i descoperi

stelele individuale. La numai cîteva ore de la descoperirea lui Shelton, astronomii australieni au putut identifica printre cele cîteva miliarde de stele conținute de Marele Nor al lui Magellan pe cea care a explodat: ei au făcut acest lucru studiind fotografiile anterioare ale acestei regiuni a cerului. Steaua respectivă era o supergigantă albastră de tipul B3, cu diametrul de aproape 40 de ori mai mare decît al soarelui. Avea chiar un nume: Sanduleak — 69 202.

Teoria că stelele pot exploda a fost cercetată mai întîi de astrofizicienii Fred Hoyle, William Fowler și Geoffrey și Margaret Burbidge pe la mijlocul anilor '50. Pentru a înțelege cum o stea ajunge la un asemenea cataclism, este necesar să știm cîte ceva despre ceea ce se întîmplă în interiorul ei. Cea mai familiară stea este soarele. Ca și cele mai multe dintre stele, soarele nu pare a se modifica; totuși aceasta contrazice faptul că el se află într-o luptă fără sfîrșit cu forțele de distrugere. Toate stelele sînt sfere de gaz menținute în echilibru datorită gravitației. Dacă gravitația ar fi singura forță care ar lucra, ele ar suferi o implozie instantanee sub propria lor greutate imensă și ar dispărea în cîteva ore. Motivul pentru care nu se întîmplă astfel este că forța internă de gravitație este contracaraată de forța externă a presiunii gazului comprimat în interiorul stelei.

Există o relație simplă între presiunea gazului și temperatura sa. Cînd un gaz de volum fix este încălzit, presiunea crește în mod normal direct proporțional cu temperatura. Din contră, cînd temperatura scade, scade și presiunea. În interiorul unei stele presiunea este enormă datorită căldurii — multe milioane de grade. Căldura este produsă de reacțiile nucleare. Pentru cea mai mare parte a vieții ei, principală reacție ce furnizează puterea stelei este conversia hidrogenului în heliu prin fuziune. Reacția aceasta necesită o temperatură foarte

înalță pentru a depăși respingerea electrică ce acționează între nuclee. Energia de fuziune poate susține o stea miliarde de ani, dar, mai devreme sau mai târziu, combustibilul se epuizează, iar reactorul începe să se poticnească. Când acest lucru se întâmplă, suportul de presiune este amenințat și steaua începe să piardă bătălia cu gravitația. O stea trăiește eminamente pe timp împrumutat, prevenind colapsul gravitațional prin ordonarea rezervelor sale de combustibil. Dar fiecare kilowatt care își ia zborul de pe suprafața stelei către adâncimile spațiului ajută la grăbirea sfârșitului.

Este calculat că soarele poate să ardă aproximativ zece miliarde de ani datorită hidrogenului cu care a pornit. Astăzi, la vârsta de aproape cinci miliarde de ani, steaua noastră locală și-a ars cam jumătate din rezervă. Totuși nu este încă necesar să intrăm în panică. Viteza cu care o stea își consumă combustibilul nuclear depinde în mod sensibil de masă. Stelele mai grele ard combustibilul mult mai repede — trebuie s-o facă deoarece sînt mai mari și mai luminoase și radiază astfel mai multă energie. Greutatea suplimentară comprimă gazul la o densitate și temperatură mai înaltă, făcînd să crească viteza reacției de fuziune. O stea avînd, de exemplu, zece mase solare va arde majoritatea hidrogenului în doar zece milioane de ani.

Să urmărim deci soarta unei astfel de stele masive. Majoritatea stelelor sînt la început compuse în principal din hidrogen. „Arderea” hidrogenului constă în fuziunea nucleelor de hidrogen — nucleul de hidrogen este compus dintr-un singur proton — pentru a forma nuclee de heliu, fiecare constînd din doi protoni și doi neutroni. (Detaliile sînt complicate și nu ne sînt necesare aici.) „Arderea” hidrogenului este cea mai eficientă sursă de energie nucleară, dar nu singura. Dacă temperatura miezului este suficient de ridicată, nucleele de

heliu pot fuziona pentru a forma carbonul, și alte reacții de fuziune conduc la oxigen, neon și alte elemente. O stea masivă poate genera temperaturile interne necesare — peste un miliard de grade — pentru ca acest lanț succesiv de reacții nucleare să continue, dar energia returnată scade continuu. Cu fiecare nou element fabricat, energia eliberată se micșorează. Combustibilul este ars din ce în ce mai repede, pînă cînd compoziția stelei se modifică în fiecare lună, apoi în fiecare zi, apoi la fiecare oră. Interiorul său seamănă cu o ceapă, ale cărei straturi sînt elementele chimice succesive, sintetizate din ce în ce mai repede. În exterior, steaua se umflă la o dimensiune enormă, mai mare decît întregul nostru sistem solar, devenind ceea ce astronomii numesc o supergigantă roșie.

Încheierea lanțului arderii nucleare este marcată de elementul fier care are o structură a nucleului foarte stabilă. Sinteza elementelor mai grele decît fierul prin fuziune nucleară mai mult consumă decît eliberează energie, deci atunci cînd o stea a sintetizat un sîmbure de fier, ea este sortită pieirii. O dată ce regiunile centrale ale stelei nu mai pot produce energie calorică, sorții înclină fatal în favoarea forței de gravitație. Steaua se balansează, aflată pe marginea unei catastrofale instabilități, rostogolindu-se pînă la urmă în propria sa capcană gravitațională.

Ceea ce se întîmplă, și se întîmplă repede, este aceasta: sîmburele de fier al stelei, incapabil de aici înainte să producă energie prin ardere nucleară, nu-și mai poate susține propria greutate și se contractă atît de puternic sub influența gravitației, încît înșiși atomii sînt striviți. În cele din urmă, sîmburele ajunge la densități nucleare la care un degetar va adăposti aproximativ un bilion de tone de materie. În acest stadiu, sîmburele stelei lovite va fi tipic de 200 km în diametru, iar soliditatea mate-

rialului nuclear îl va determina să facă un salt. Atît de puternică este atracția gravitațională încît acest titanic salt nu durează decît cîteva milisecunde. În timp ce drama se desfășoară în centrul stelei, straturile de material stelar ce o înconjoară se prăbușesc înspre nucleu într-o convulsie rapidă. Călătorind către interior cu zeci sau sute de kilometri pe secundă, bilioane după bilioane de tone de material de implozie întîlnesc nucleul foarte compact, mai puternic decît un zid de diamant. Ceea ce urmează este o coliziune de o violență amețitoare, care eliberează din interiorul stelei o imensă undă de șoc.

O dată cu unda de șoc apare o emisie masivă de neutrini, eliberați deodată din străfundurile regiunilor interioare ale stelei în timpul ultimei transmutații nucleare, o transmutație în care electronii și protonii atomilor stelei sînt striviți împreună pentru a forma neutroni. Miezul stelei devine efectiv o bilă imensă de neutroni. Undele de șoc și neutrinii transportă laolaltă către exterior, prin straturile superficiale ale stelei, și o mare cantitate de energie. Absorbînd mult din această energie, straturile dinspre exteriorul stelei explodează într-un holocaust nuclear de o putere inimaginabilă. Timp de cîteva zile steaua strălucește cu intensitatea a zece miliarde de sori, pentru a se stinge apoi din nou cîteva săptămîni mai tîrziu.

Supernovele apar aproximativ de două sau de trei ori pe secol, într-o galaxie tipică, așa cum este Calea Lactee, și ele au fost înregistrate în istorie de către astronomii uimiți. Una din cele mai faimoase a fost remarcată de observatorii chinezi și arabi în 1054 în constelația Cancerului (Racului). Astăzi, steaua sfărîmată apare ca un nor neregulat de gaze ce se extind, cunoscută sub numele de Nebuloasa Racului.

Explozia supernovei 1987 A a iluminat universul cu o săgeată vizibilă de neutrini. A fost o vibrație cu o inten-

sitate uimitoare. Fiecare centimetru pătrat de Pămînt — deşi aflat la o distanţă de 170 000 ani lumină faţă de explozie — a fost străpuns de o sută de miliarde de neutrini, însă locuitorii săi, din fericire, nu au fost conştienţi că au fost străpuşi, pentru o clipă, de multe bilioane de particule dintr-o altă galaxie. Dar detectoarele de protoni dezintegraţi din Kamioka şi Ohio au oprit nouăsprezece dintre ei. Fără această aparatură neutrinii ar fi trecut neobservaţi, aşa cum s-a întîmplat în 1054.

Deşi o supernovă înseamnă moartea stelei implicate, explozia are şi un aspect creator. Enorma eliberare de energie înfierbîntă atît de puternic straturile superficiale ale stelei, încît pentru o scurtă perioadă de timp sînt posibile noi reacţii de fuziune nucleară — acestea mai mult consumă decît eliberează energie. Elemente grele, în afară de fier — cum ar fi aurul, plumbul şi uraniul — sînt fabricate în acest ultim şi intens cuptor stelar. Aceste elemente, împreună cu cele mai uşoare cum ar fi carbonul şi oxigenul, care au fost create în primele stadii ale nucleosintezei, sînt împrăştiate în spaţiu, pentru a se amesteca acolo cu deşeurile altor nenumărate supernove. De-a lungul epocilor următoare, aceste elemente grele sînt înglobate în generaţii noi de stele şi planete. Fără fabricarea şi împrăştierea acestor elemente, nu ar putea exista planete ca Pămîntul. Carbonul şi oxigenul, dătătoare de viaţă, aurul din băncile noastre, plumbul din tablele de pe acoperiş şi barele de uraniu din reactoarele nucleare — toate îşi datorează prezenţa terestră convulsiilor mortale ale stelelor care au dispărut cu mult înainte ca soarele nostru să existe. Este un gînd uimitor că însuşi „materialul” trupului nostru este alcătuit din cenuşa nucleară a stelelor moarte demult.

O explozie de supernovă nu distruge complet steaua. Deşi majoritatea materialului este dispersată de cata-

clism, miezul de implozie care a declanșat evenimentul rămîne la locul lui. Soarta sa totuși este incertă. Dacă masa miezului este suficient de mică — să spunem cît masa solară — atunci el va forma o sferă de neutroni de mărimea unui mic oraș. Cel mai probabil este că această „stea neutronică” se va roti frenetic, poate cu peste o mie de revoluții pe secundă sau zece procente din viteza luminii la suprafață. Ea capătă această rotație nebunească datorită imploziei care amplifică enorm relativ ușoara rotație a stelei originare; acesta este același principiu care face ca patinatorii să se rotească mai repede cu mâinile pe lîngă corp. Astronomii au detectat multe astfel de stele neutronice în rotație rapidă. Dar viteza de rotație scade treptat pe măsură ce obiectul își pierde energia. Steaua neutronică din mijlocul Nebuloasei Racului, de exemplu, a încetinit acum la 33 revoluții pe secundă.

Dacă masa miezului este ceva mai mare — să zicem, mai multe mase solare — el nu se poate transforma într-o stea neutronică. Forța gravitației este atît de puternică încît chiar materia neutronică — cea mai rigidă substanță cunoscută — nu poate să mai reziste altei compresii. Acest stadiu evoluează într-un eveniment mai impresionant și mai catastrofal decît supernova. Sîmburele stelei continuă să colapseze și în mai puțin de o milisecundă el creează o gaură neagră și dispare în ea.

Soarta unei stele masive este deci să explodeze în fărîme, lăsînd în urmă fie o stea neutronică, fie o gaură neagră înconjurată de gaze emise difuz. Nimeni nu știe cîte stele au murit deja în felul acesta, dar numai Calea Lactee ar putea conține miliarde de astfel de leșuri stelare.

Copil fiind, aveam o teamă morbidă că soarele ar putea să explodeze. Nu este totuși nici un pericol ca el să devină o supernovă. Este prea mic. Soarta stelelor mai

mici este oricum mai puțin violentă decît a verișoarelor lor mai masive. Mai întîi, procesele nucleare care devorează combustibilul au loc ceva mai încet; într-adevăr, o stea pitică aflată la capătul de jos în rîndul maselor stelare poate străluci liniștită un bilion de ani. În al doilea rînd, o stea ușoară nu poate genera temperaturi interne suficient de mari pentru a sintetiza fierul și, în consecință, pentru a dezlănțui o implozie catastrofală.

Soarele este o stea tipică de masă mică, arzîndu-și liniștită combustibilul de hidrogen și transformîndu-și interiorul în heliu. Heliul se află de cele mai multe ori într-un nucleu central care este inert în ce privește reacțiile nucleare; fuziunea are loc la suprafața nucleului. De aceea, acesta este incapabil să contribuie la generarea căldurii imense necesare pentru ca soarele să facă față strivitoarelor forțe gravitaționale. Pentru a preveni colapsul, soarele trebuie să-și extindă activitatea nucleară în exterior, în căutarea hidrogenului proaspăt. Între timp miezul de heliu se contractă treptat. O dată cu trecerea epocilor, aspectul soarelui se va modifica imperceptibil ca rezultat al acestor schimbări interne. El se va mări, dar suprafața sa se va răci întrucîtva, căpătînd o culoare roșiatică. Această orientare va continua pînă cînd soarele se va transforma într-o stea gigantică roșie, poate de 500 ori mai mare decît este acum. Gigantele roșii sînt familiare astronomilor și în această categorie intră mai multe stele bine cunoscute ce strălucesc pe cerul nopții, ca Aldebaran, Betelgeuse și Arcturus. Faza de gigantă roșie marchează începutul sfîrșitului pentru o stea de masă mică.

Deși o gigantă roșie este relativ rece, dimensiunea sa mare îi dă o imensă suprafață de radiație, ceea ce înseamnă o mai mare luminozitate. Planetele soarelui

vor avea de înfruntat o perioadă grea, peste vreo patru miliarde de ani, cînd fluxul de căldură în creștere le va asalta. Pămîntul va deveni de nelocuit mult înainte de aceasta, oceanele vor dispărea prin fierbere și atmosfera va fi îndepărtată. Cum soarele va crește din ce în ce mai mult, el îl va îngloba cu învelișul său de flăcări mai întîi pe Mercur, apoi pe Venus și în final Terra. Planeta noastră va fi redusă la cenușă, agățîndu-se cu încăpăținare de orbita sa chiar după incinerare; densitatea gazelor roșii și fierbinți ale soarelui va fi atît de mică încît condițiile se vor apropia de cele de vid, exercitînd doar puțină influență de frînare asupra mișcării Pămîntului.

Însăși existența noastră în univers este o consecință a extraordinarei stabilități a stelelor asemănătoare cu soarele, care pot arde liniștite, cu puține schimbări, timp de miliarde de ani, destul pentru a permite vieții să se dezvolte și să înflorească. Dar cu faza de gigantă roșie, această stabilitate se va sfîrși. Stadiile următoare în cariera unei stele ca soarele sînt complicate, stranii și violente, cu schimbări relativ rapide de comportare și aspect. Stelele îmbătrînite pot petrece milioane de ani pulsînd sau îndepărtînd învelișurile de gaze unul după altul. Heliul din miezul stelei se poate aprinde pentru a forma carbonul, azotul sau oxigenul, procurînd astfel energia vitală care va susține steaua pentru încă un timp. Aruncîndu-și în spațiu învelișul exterior, steaua poate sfîrși redusă la miezul ei de carbon și oxigen.

Urmînd această perioadă de activitate complicată, stelele de masă medie și mică devin în mod inevitabil victimele gravitației și se contractă. Con tracția este nemiloasă și continuă pînă cînd steaua se reduce la dimensiunea unei mici planete, devenind un obiect cunoscut de astronomi ca pitică albă. Pentru că sînt atît de mici, piticele albe sînt foarte palide, în ciuda

faptului că la suprafața lor temperatura poate fi mult mai mare decît cea de pe soare. Ele sînt vizibile de pe Pămînt numai cu ajutorul telescopului.

Un destin de pitică albă îl așteaptă și pe soarele nostru în viitorul îndepărtat. Cînd va ajunge la această fază el va continua să rămîină fierbinte pentru multe miliarde de ani; corpul său enorm va fi atît de compact, încît va menține căldura internă mai eficient decît cel mai bine cunoscut izolator. Totuși, deoarece furnalul nuclear intern se va fi închis pentru totdeauna, el nu va mai avea rezerve de combustibil spre a completa scurgerea lentă de radiație calorică în adîncimile reci ale spațiului. Foarte, foarte încet pitica rămasă din ceea ce a fost odată puternicul nostru soare se va răci și se va întuneca pînă va ajunge la metamorfoza finală, solidificîndu-se gradat într-un cristal de o rigiditate extraordinară. În cele din urmă va dispărea complet, scufudîndu-se liniștit în întunecimea spațiului.

Căderea nopții

Calea Lactee luminează cu strălucirea a o sută de miliarde de stele și fiecare din ele este osîndită. În zece miliarde de ani cele mai multe stele care sînt acum vizibile vor fi dispărut din vedere, distruse de lipsa de combustibil, victime ale celei de-a II-a legi a termodinamicii.

Dar Calea Lactee va continua să scînteieze cu lumină stelară, pentru că în timp ce unele stele mor, altele se nasc spre a le lua locul. În brațele spiralate ale galaxiei, cum este cel în care se află în prezent soarele nostru, norii de gaz încep să se comprime, să colapseze sub acțiunea gravitației, se fragmentează și declanșează o cascadă de nașteri stelare. O privire către constelația Orion revelează o astfel de activitate de naștere de stele. Stropul luminos de praf din centrul „sabiei” lui Orion nu este de fapt o stea ci o nebuloasă, un nor uriaș de gaz presărat cu stele tinere și strălucitoare. Observînd mai degrabă radiațiile infraroșii decît lumina vizibilă, astronomii au surprins recent, privind la această nebuloasă, stele aflate în primele stadii de formare, încă înconjurate de gaze și praf întunecat.

Formarea stelelor în brațele spiralate ale galaxiei noastre va continua atît timp cît există destul gaz. Gazul conținut în galaxie este în parte material primordial

neagregat încă în stele și în parte gaz aruncat din stele, în supernove, vînt stelar, mici explozii și alte procese. Este evident că reciclarea materiei nu poate dura veșnic. Cum stelele bătrîne mor și colapsează devenind pitice albe, stele neutronice sau găuri negre, ele vor fi incapabile să reumple rezervoarele de gaz interstelar. Încetul cu încetul, materialul primordial va fi încorporat în stele, pînă va fi și el total epuizat. După ce aceste stele recente își vor parcurge ciclul de viață și vor muri, în mod inexorabil galaxia va începe să se stingă. Dispariția ei va fi doar amînată. Multe miliarde de ani se vor scurge pînă cînd cele mai mici și mai tinere stele își vor fi terminat arderea nucleară, transformîndu-se în pitice albe. Dar cu un final încet, agonizant, noaptea eternă va cădea cu siguranță.

O soartă asemănătoare pîndește și celelalte galaxii răspîndite în toate genunile ce se deschid în spațiu. Universul, de obicei iluminat cu prolifica energie a puterii nucleare, va epuiza pînă la urmă această valoroasă resursă. Epoca luminii se va încheia pentru totdeauna.

Sfîrșitul universului nu va veni totuși o dată cu dispariția luminilor cosmice, deoarece mai există o altă sursă de energie, chiar mai puternică decît reacțiile nucleare. Gravitația, cea mai slabă dintre forțele naturii la nivel atomic, devine atotstăpînitoare la scară astronomică. Ea poate fi relativ blîndă în efectele sale, dar acționează foarte persistent. Timp de miliarde de ani, stelele se sprijină pe arderea nucleară în lupta împotriva propriei lor greutate. Dar în tot acest timp gravitația așteaptă să-și exercite dreptul asupra lor.

Forța gravitațională între doi protoni din nucleul atomic reprezintă abia a zecea bilionime de bilionime de bilionime (10^{-37}) din forța nucleară mare. Dar gravitația este cumulativă. Fiecare proton care apare în

stea se adaugă la greutatea totală. În ultimă instanță forța gravitațională e copleșitoare. Și aceasta forță copleșitoare reprezintă cheia ce declanșează o imensă putere.

Nici un obiect nu ilustrează mai bine puterea gravitației decît o gaură neagră. Aici, gravitația a triumfat total, strivind o stea pînă ce nu rămîne nimic și lăsînd o amprentă în spațiul-timp înconjurător sub forma unei continue deformări temporale. Există un fascinant experiment gîndit privitor la găurile negre. Imaginați-vă că aruncăm un corp mic, de exemplu mingea de biliard, de la mare distanță într-o gaură neagră. Bila va dispărea din vedere, adîncindu-se în gaură și va fi iremediabil pierdută. Ea va lăsa totuși o urmă a existenței sale de odinioară în structura găurii, care devine ușor mai mare datorită mingii înghițite. Calculul arată că dacă mingii i se dă drumul de la mare distanță în gaură, atunci aceasta va cîștiga o masă egală cu masa inițială a mingii. Nici un pic de energie sau masă nu se pierde.

Să luăm acum în considerare un alt experiment în care mingea este coborîtă încet către gaură. Acest lucru se poate face cu o sfoară legată de minge, trecînd sfoara peste un scripete într-un cilindru și permițînd sforii să se descolăcească (v. fig. 5.1). Am presupus că sfoara nu se întinde și nu cîntărește nimic, ceea ce este ireal, dar ajută la evitarea complicațiilor. Cînd mingea este coborîtă, ea poate elibera energie, de exemplu, învîrtind un generator electric legat de cilindru. Cu cît mingea se apropie de suprafața găurii negre, cu atît mai puternică va fi atracția sa gravitațională exercitată asupra mingii. În timp ce greutatea sa crește astfel, mingea acționează din ce în ce mai puternic asupra generatorului. Un calcul simplu arată cîtă energie va fi eliberat mingea către generator pînă cînd ajunge la suprafața găurii negre. În cazul ideal, răspunsul se

dovedește a fi *întreaga* energie provenită din masa de repaus a mingii. (Am explicat conceptul de masă de repaus la p. 54.)

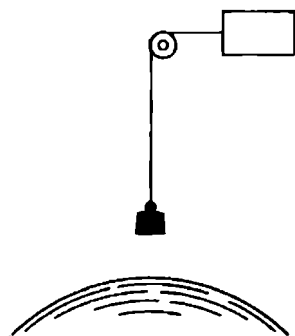


FIGURA 5.1 În acest experiment idealizat o greutate este lăsată în jos pe o frînghie către suprafața unei găuri negre, folosind un sistem de scripeți ficși (fixarea nu este arătată). Ca urmare, greutatea ce coboară acționează și eliberează energie către cutie. Energia totală eliberată se apropie de întreaga energie a masei de repaus a greutății, pe măsură ce greutatea se apropie de suprafața găurii negre.

Să ne reamintim faimoasa formulă a lui Einstein $E=mc^2$ care ne spune că o masă m are o cantitate de energie mc^2 . Folosind o gaură neagră, am putea în principiu recupera o parte. În cazul unei mingii de biliard cântărind 100 grame, partea înseamnă aproximativ un miliard de kilowați oră de electricitate. Prin comparație, atunci când soarele arde 100 grame de combustibil prin fuziune nucleară eliberează mai puțin de un procent din această cifră. Deci, în principiu, energia gravitațională eliberată poate fi de peste o sută de ori mai puternică decât fuziunea termonucleară care furnizează energie stelelor.

Cu siguranță, cele două situații inventate și descrise de noi aici sînt total nerealiste. Fără îndoială că mereu cad

obiecte către găurile negre, dar niciodată atîrnînd de un scripete pentru a elibera energie în modul cel mai eficient. Astfel încît în practică se emite o valoare intermediară de energie cuprinsă între zero și o sută de procente din energia masei de repaus. Frațiunea efectivă depinde de circumstanțele fizice. În ultimele două decade, astrofizicienii au studiat o serie de simulări pe calculator și alte modele matematice pentru a înțelege comportarea gazului atunci cînd se învîrtește într-o gaură neagră și pentru a estima cantitatea și genul de energie eliberată. Procesele fizice implicate aici sînt foarte complicate; este totuși clar că enormele cantități de energie gravitațională pot fi eliberate de astfel de sisteme.

O singură observație face cît o mie de calcule, iar astronomii au efectuat intense cercetări asupra obiectelor ce ar putea fi găuri negre aflate în procesul de absorbție a materiei. Deși o gaură neagră foarte convingătoare nu a fost găsită încă, un sistem care pare foarte promițător este localizat în constelația Cygnus și este cunoscut sub numele de Cygnus X-1. Un telescop optic revelează o stea mare, fierbinte, de tipul cunoscut ca giganta albastră datorită culorii sale. Studiile spectroscopice indică faptul că steaua albastră nu este singură; ea oscilează ritmic — un indiciu că este atrasă periodic de gravitația unui obiect vecin. Este evident că steaua și alt corp se află pe orbite apropiate unul în jurul celuilalt. Telescoapele optice nu dau totuși nici un semn despre vreun companion; este ori un obiect negru, ori o stea compactă foarte întunecată. Acest lucru este sugestiv pentru o gaură neagră, dar nu reprezintă nicidecum o dovadă.

Un alt indiciu apare din estimarea masei corpului negru. Aceasta poate fi dedusă din legile lui Newton o dată ce cunoaștem masa gigantei albastre pe care o putem estima datorită relației strînse între masa unei

stele și culoarea ei: stelele albastre sînt fierbinți și deci au masă mare. Calculele arată că nevăzutul companion are o masă echivalentă cu cîteva mase solare. Este deci clar că nu este o stea normală mică și întunecată, așa că trebuie să fie o stea masivă prăbușită, fie o pitică albă, o stea neutronică, fie o gaură neagră. Există totuși motive fizice importante pentru care un obiect compact atît de masiv nu poate fi nici o pitică albă, nici o stea neutronică. Problema privește cîmpul gravitațional intens care încearcă să strivească obiectul. Colapsul total către o gaură neagră poate fi evitat numai dacă există vreun fel de presiune internă suficient de puternică să facă față forței gravitaționale de comprimare. Dar dacă obiectul prăbușit are mai multe mase solare nu se cunoaște nici o forță care să reziste acelei greutatei strivitoare a materialului său. Într-adevăr, dacă miezul stelei ar fi suficient de tare pentru a evita de a fi strivit, atunci viteza sunetului în material ar trebui să depășească viteza luminii. Cum acest lucru contrazice teoria relativității speciale, majoritatea fizicienilor și a astronomilor crede că formarea unei găuri negre este inevitabilă în asemenea circumstanțe.

Dovada hotărîtoare că Cygnus X-1 conține o gaură neagră vine dintr-o cu totul altă observație. Numele X-1 a fost dat pentru că acest sistem este o puternică sursă de raze X, care pot fi detectate de senzori aflați la bordul sateliților. Modelele teoretice vorbesc foarte convingător despre aceste raze X, bazîndu-se pe presupunerea că obiectul întunecat, companion al lui Cygnus X-1, este o gaură neagră. Cîmpul gravitațional calculat al găurii este suficient de puternic pentru a aspira materia stelei gigantice albastre. În timp ce gazele abduze sînt trase spre gaură — și dispariția finală — rotația orbitală a sistemului ar determina materia ce

cade să se învîrtă în jurul găurii negre și să formeze un disc. Un astfel de disc nu poate fi complet stabil pentru că materia mai apropiată de centru orbitează în jurul găurii negre mult mai repede decît cea de la margine și forțele de vîscozitate vor încerca să egalizeze această rotație diferențiată. Ca rezultat, gazul se încălzește la o temperatură suficient de înaltă pentru a emite nu numai lumină, ci și raze X. Pierderea de energie orbitală pe care aceasta o reprezintă determină gazul să spiraleze încet în gaură.

Dovada existenței unei găuri negre în Cygnus X-1 se bazează deci pe un lung șir de raționamente implicînd atît detalii bazate pe observație, cît și modelarea teoretică. Acest lucru este tipic pentru natura majorității cercetărilor astronomice în zilele noastre: nici una din dovezi nu se impune, dar diversele studii asupra lui Cygnus X-1 și a unui număr de sisteme similare sugerează cu putere prezența unei găuri negre. Cu siguranță explicația găurii negre este cea mai clară și cea mai puțin controversată.

Efecte chiar mai spectaculoase sînt de așteptat de la găurile negre mai mari. La ora actuală se pare că multe galaxii conțin în centrul lor găuri negre supermasive. Dovada pentru aceasta este mișcarea rapidă pe care o au stelele din nucleul galactic; stelele sînt aparent îndreptate către un obiect compact cu o foarte puternică gravitație. Estimările masei unor astfel de obiecte posibile sînt între zece milioane și un miliard de mase solare, ceea ce le-ar da o poftă vorace pentru orice bucătică de materie ce rătăcește în vecinătatea lor. Stelele, planetele, gazul și praful cad probabil pradă acestor monștri. Violența procesului de cădere ar putea fi uneori atît de mare, încît să distrugă întreaga structură a galaxiei. Astronomii sînt obișnuiți cu o mare varietate de nuclee galactice active. Unele galaxii dau

impresia că literalmente explodează; multe sînt puternice surse de unde radio, raze X și alte forme de energie. Foarte aparte este o clasă de galaxii active care împrăștie enorme jeturi de gaz, pe o distanță de mii sau chiar milioane de ani lumină. Energia emisă de unele dintre aceste obiecte este uimitoare. De exemplu quasarii foarte îndepărtați — numele este prescurtarea de la „quasi-stellar objects“ (obiecte cvasistelare) — pot emite tot atîta energie cît mii de galaxii, și încă de la o regiune mică de doar un an lumină ca diametru, dîndu-le aparența superficială de stele.

Mulți astronomi cred că motoarele centrale ale tuturor acestor obiecte atît de sfărîmate sînt găuri negre rotative, imense, aflate în procesul de aspirare a materialului din vecinătatea lor. Este probabil că orice stea care se apropie de o gaură va fi sfărîmată de gravitația găurii sau se va ciocni cu alte stele și se va face bucăți. Ca și în cazul lui Cygnus X-1, dar la o scară mult mai mare, materialul rezultat ar forma probabil un disc de gaze fierbinți care orbitează în jurul găurii și încet se scufundă în ea. Eliberarea concomitentă de mari cantități de energie gravitațională poate fi apoi canalizată de-a lungul axei de rotație a găurii, producînd două jeturi de direcție opusă. Mecanismul acestei eliberări de energie și formarea jeturilor pare a fi foarte complicat, implicînd forțe electromagnetice, de vîscozitate și altele, ca și gravitația. Tema rămîne obiectul unei intense munci teoretice și de observație.

Dar ce se întîmplă cu Calea Lactee? Ar fi posibil ca însăși galaxia noastră să fie sfărîmată astfel? Centrul Căii Lactee se află la o distanță de 30 000 de ani lumină în constelația Sagittarius (Săgetătorului). Regiunile ei interioare sînt întunecate de nori mari de praf și gaz, dar instrumentele pentru unde radio, raze X, gamma sau infraroșii au dat astronomilor posibilitatea să con-

state existența unui obiect deosebit de compact cu energie înaltă numit Sagittarius A^{*}. Nu mai mare de câteva miliarde de kilometri în diametru (mic, după standardele astronomice), Sagittarius A^{*} este totuși cea mai puternică sursă radio din galaxie. Poziția sa coincide cu aceea a unei surse foarte intense în infraroșu și este de asemenea aproape de un obiect neobișnuit ce emite raze X. Deși situația este complicată, se pare din ce în ce mai mult că cel puțin o gaură neagră masivă se ascunde acolo și se face responsabilă de o parte din fenomenele observate. Totuși masa găurii nu depășește probabil zece milioane de mase solare, situându-se deci la baza ordinului de mărime supermasiv. Nu există nici o dovadă a unei emisiuni violente de energie și material, așa cum se întâmplă în nucleeele altor galaxii, din cauză că gaura neagră este în mod curent într-o stare calmă. Ar putea izbucni la un moment dat în viitor — poate dacă va primi o mai mare cantitate de gaze — deși nu ar fi probabil atât de distructiv ca multe alte sisteme cunoscute. Este neclar ce efect ar avea o astfel de izbucnire asupra stelelor și planetelor din brațele spiralate ale galaxiei.

O gaură neagră va continua să elibereze energia de repaus a materiei sacrificate atât timp cât există în vecinătatea ei material pentru a o hrăni. De-a lungul timpului, din ce în ce mai multă materie va fi înghițită de găurile negre și, drept rezultat, ele vor deveni din ce în ce mai mari și mai nesățioase. Chiar și stelele care orbitează la o distanță destul de mare în jurul unei găuri masive vor pieri în cele din urmă. Motivul este un fenomen foarte slab, dar în final decisiv, numit *radiație gravitațională*.

La scurt timp după ce Einstein a formulat teoria generală a relativității, el a descoperit o proprietate importantă a câmpului gravitațional. Dintr-un studiu al

ecuațiilor de câmp ale teoriei, Einstein a găsit că ele presupun existența unor oscilații gravitaționale asemenea unor unde care se propagă prin spațiul gol cu viteza luminii. Această radiație gravitațională este remanentă din radiația electromagnetică, așa ca lumina și undele radio. Totuși, deși poate purta multă energie, radiația gravitațională diferă de cea electromagnetică prin puterea cu care perturbă materia. În timp ce o undă radio este absorbită de o structură atît de delicată ca o împletitură metalică, o undă gravitațională interacționează așa de slab încît ar strabate Pămîntul aproape fără diminuare. Dacă ați putea construi un laser gravitațional ați avea nevoie de o rază de un bilion de kilowați pentru a fierbe o oală de apă, așa cum o face o spirală electrică de un kilowatt. Comparativa slăbiciune a radiației gravitaționale poate fi pusă pe seama faptului că gravitația este de departe cea mai slabă dintre forțele cunoscute ale naturii. Raportul dintre forțele gravitaționale și electrice într-un atom, de exemplu, este de aproximativ 10^{-40} . Singurul motiv pentru care observăm forța gravitației este faptul că efectele sale sînt cumulative și de aceea ea predomină în obiectele mari cum ar fi planetele.

Nu numai că undele gravitaționale sînt foarte slabe în efectele lor, dar și producerea lor are loc în mod silențios. În principiu, radiația gravitațională se produce ori de cîte ori masele sînt perturbate. De exemplu, mișcarea Pămîntului în jurul soarelui emite continuu unde gravitaționale, dar puterea totală pe care o produce este de-abia 1 miliwatt! Această scurgere de energie face ca orbita Pămîntului să coboare, dar teribil de încet: aproximativ a mia bilioana parte dintr-un centimetru pe deceniu. Situația este cu totul diferită pentru corpuri astronomice masive ce se mișcă cu viteze apropiate de viteza luminii. Două feluri de fenomene

par să conducă la efecte importante ale radiației gravitaționale. Unul este un efect evident și brusc, cum ar fi o supernovă sau colapsul unei stele pentru a forma o gaură neagră. Rezultatul este emisia unui impuls de această durată de radiație gravitațională în poate câteva minisecunde și purtînd cu el o energie de 10^{44} J. (Comparați aceasta cu emisia de căldură a soarelui care este de aproximativ 3×10^{26} J pe secundă.) Celălalt fenomen este mișcarea rapidă, a unor obiecte masive ce orbitează unul față de celălalt. De exemplu, o pereche apropiată de stele binare va genera un flux mare, continuu de radiație gravitațională. Acest proces este mult mai eficient dacă stelele ce orbitează sînt obiecte colapsate, ca de exemplu stelele neutronice sau găurile negre. În constelația Aquila se află două stele neutronice care își au orbita numai la câteva milioane de kilometri una de alta. Cîmpurile gravitaționale sînt atît de puternice încît fiecare orbită este parcursă în mai puțin de opt ore, astfel că stelele se mișcă cu o viteză egală cu o fracțiune importantă din viteza luminii. Această neobișnuit de rapidă mișcare amplifică mult viteza de emisie a undelor gravitaționale și determină orbita să scadă cu o cantitate măsurabilă în fiecare an (cam 75 microsecunde pe o astfel de perioadă). Viteza de emisie crește pe măsură ce stelele se mișcă în spirală una față de alta. Ele sînt destinate să intre una în alta peste 300 milioane de ani.

Astronomii estimează că un sistem binar de acest fel se întrepătrunde cam o dată la 100 000 ani per galaxie. Atît de compacte sînt obiectele și atît de imens cîmpul lor gravitațional, încît, în ultimele momente ce preced impactul, stelele orbitează una în jurul celeilalte de mii de ori pe secundă, iar frecvența undei gravitaționale va crește repede cu un zgomot caracteristic. Formulele lui Einstein arată că puterea gravitațională eliberată în

această fază finală va fi imensă și orbita va cădea rapid. Forma stelelor va fi puternic distorsionată de atracția gravitațională reciprocă, astfel încât în momentul cînd se vor atinge vor arăta ca niște imense țigări răsucite. Rezultatul contopirii va fi o afacere tare încurcată, cele două stele tinzînd să formeze o masă complicată, foarte săltăreacă care va emite în mod prolific radiații gravitaționale pînă cînd va deveni o formă sferică, bălăbă-nindu-se ca un clopot monstruos într-un tip anumit de vibrații. Aceste oscilații vor produce și ele o oarecare creștere a radiației gravitaționale, secătuiind obiectul de încă mai multă energie, pînă cînd se calmează și în cele din urmă devine inert.

Deși rata pierderii energiei este relativ înceată, emisia de radiație gravitațională pare să aibă efecte pe termen lung asupra structurii universului. De aceea este important ca oamenii de știință să încerce să-și confirme ideile despre radiația gravitațională prin observație. Studiile asupra sistemului de stele binare neutronice din Aquila arată că orbita coboară exact cu viteza prezisă de teoria lui Einstein. Acest sistem furnizează de aceea o dovadă directă pentru emisia de radiație gravitațională. Un test mai decisiv cere totuși detectarea unor astfel de radiații într-un laborator de pe Pămînt. Multe grupuri de cercetători au construit echipamentul necesar pentru a înregistra trecerea în zbor a unei explozii de unde gravitaționale, dar pînă acum nici unul din aceste aparate nu a fost destul de sensibil pentru a detecta o astfel de radiație și deci trebuie să așteptăm probabil o nouă generație de detectoare, înainte ca existența radiației gravitaționale să fie complet confirmată.

Contopirea a două stele neutronice poate produce fie o stea neutronică mai mare, fie o gaură neagră. Contopirea unei stele neutronice cu o gaură neagră sau a două găuri negre trebuie să producă o singură gaură

neagră. Acest proces ar fi însoțit de o pierdere a energiei undei gravitaționale, similară cu cea în cazul stelelor neutronice binare urmată de mișcări circulare și vibratorii complicate, care ar fi încet înăbușite de pierderea de putere a undei gravitaționale.

Este interesant de studiat limitele teoretice ale energiei gravitaționale care poate fi extrasă în timpul contopirii a două găuri negre. Teoria acestor procese a fost elaborată de Roger Penrose, Stephen Hawking, Brandon Carter, Remo Ruffini, Larry Smarr și alții la începutul anilor '70. Dacă găurile au mase egale și nu sînt în rotație, pot fi eliberate aproape 29 procente din energia totală a masei de repaus. Aceasta nu trebuie să fie complet sub formă de radiație gravitațională dacă gaura neagră a fost în vreun fel influențată de o tehnologie avansată, dar într-o contopire naturală cea mai mare parte din energia eliberată ar fi sub această formă discretă. Dacă găurile s-ar roti cu viteza maximă permisă de legile fizicii (aproximativ cu viteza luminii) și s-ar contopi de-a lungul axelor de rotație rotindu-se în sens contrar, atunci ar putea fi emise 50 procente din energia-masă.

Chiar această fracțiune sesizabilă nu reprezintă în mod teoretic maximul. Este posibil ca o gaură neagră să aibă sarcină electrică. O gaură neagră încărcată electric are un cîmp electric și un cîmp gravitațional și amîndouă pot înmagazina energie. Dacă o gaură neagră cu sarcină pozitivă o întâlnește pe una cu sarcină negativă, are loc o „descărcare” cu eliberare de energie atît electromagnetică cît și gravitațională.

Apare o limită în această descărcare, o dată ce o gaură neagră de o anumită masă poate avea o sarcină electrică, dar pînă la o anumită valoare maximă. Pentru o gaură lipsită de rotație, această valoare este fixată de următorul considerent. Imaginați-va două găuri iden-

tice, cu aceeași sarcină. Câmpurile gravitaționale ale găurilor vor da naștere la o forță de atracție între ele, în timp ce câmpul electric va produce o forță de respingere (ca respingerea sarcinilor). Când raportul dintre sarcină și masă ajunge la o valoare critică, cele două forțe opuse se vor echilibra și nu va mai fi aici o forță efectivă între găurile negre. Această condiție marchează limita cantității de sarcină electrică pe care o poate conține o gaură neagră. Ne putem întreba ce s-ar întâmpla dacă am încerca să mărim sarcina unei găuri negre peste valoarea maximă. Unul din modurile de a face acest lucru ar fi să trimitem cu forța mai multă sarcină în interiorul găurii. Acest procedeu va servi pentru a mări sarcina electrică, dar lucrul mecanic efectuat pentru a birui respingerea electrică folosește energie și această energie este livrată găurii. Deoarece energia are masă (amintiți-vă $E = mc^2$) gaura devine mai masivă, așadar mai mare. Un calcul simplu arată că în acest proces masa crește mult mai mult decât sarcina, astfel încât raportul dintre sarcină și masă descrește, iar încercarea de a depăși limita eșuează.

Câmpul electric al unei găuri negre cu sarcină contribuie la masa totală a ei. În cazul unei găuri purtând încărcătura maximă admisă, câmpul electric reprezintă jumătate din masă. Dacă două găuri fără rotație poartă maximum de încărcătură, dar de semn opus, atunci ele se vor atrage una pe alta atît cu forță gravitațională cît și cu cea electromagnetică. Când ele se contopesc, sarcinile electrice se neutralizează și energia electrică poate fi extrasă. Din punct de vedere teoretic, aceasta poate reprezenta cel mult 50 procente din energia totală a masei sistemului.

Limita superioară absolută a extracției energiei are loc dacă ambele găuri sînt în rotație și dacă poartă și sarcini electrice (opuse) fiecare, la valoare maximă. Atunci se

pot elibera două treimi din energia totală a masei. Bineînțeles, aceste valori prezintă numai un interes teoretic, deoarece în practică o gaură neagră nu pare să aibă o sarcină electrică mare și nici două găuri negre nu par să se contopească în manieră optimă, decât dacă sînt determinate să facă astfel de către o comunitate tehnologică avansată. Totuși chiar contopirea ineficientă a două găuri negre va produce probabil o eliberare de energie aproape instantanee ce s-ar ridica la o fracțiune semnificativă din energia totală a masei obiectelor considerate. Aceasta ar putea fi comparată cu meschinul un procent din energia masei pe care stelele o emit prin fuziune nucleară de-a lungul vieții lor de multe miliarde de ani.

Semnificația acestor procese gravitaționale constă în faptul că, departe de a muri, o stea ce și-a încheiat arderea are posibilitatea să elibereze mult mai multă energie, ca cenușă căzută, decât prin procesele termonucleare, ca minge incandescentă de gaz. Cînd acest lucru a fost recunoscut, acum vreo douăzeci de ani, fizicianul John Wheeler — cel care a creat expresia „gaură neagră” — a conceput o civilizație ipotetică a cărei cerere crescîndă de energie a făcut-o să-și abandoneze steaua proprie pentru a rezida în jurul unei găuri negre în rotație. În fiecare zi numeroasele produse ale acestei comunități sînt încărcate în camioane și expediate înspre gaură pe o traiectorie calculată cu grijă. În apropierea găurii conținutul este eliberat din camioane și răsturnat în gaură unde rămîne pentru totdeauna. Materialul care cade, călătorind pe o cărare cu sensul de rotație invers decât cel al găurii, are efectul de a frîna în mod lent rotirea. Energia de rotație a găurii este astfel eliberată și poate fi utilizată de civilizație pentru a-și potența industria. Procesul are deci dubla virtute de a elimina complet deșeurile transformîndu-le

în energie pură. În acest fel, civilizația poate să elibereze la cerere o cantitate mult mai mare de energie din steaua moartă, decît emitea ea vreodată în faza sa luminoasă.

Deși utilizarea puterii unor găuri negre este un scenariu științifico-fantastic, o mare cantitate de materie va sfîrși în interiorul lor fie în mod natural, fie ca o parte a stelei care colapsează pentru a forma gaura, fie ca fărîme înghițite în timpul unei întâlniri întîmplătoare. De cîte ori țin conferințe despre găurile negre, oamenii vor să știe ce se întîmplă cu un lucru ce intră într-una din ele. Răspunsul pe scurt este că nu știm. Ceea ce cunoaștem despre găurile negre se bazează aproape integral pe considerații teoretice și modelare matematică. Într-adevăr, prin definiție nu putem observa interiorul unei găuri negre din exterior, astfel încît chiar dacă am avea un acces bun de observare la o gaură neagră (ceea ce nu avem) nu am putea niciodată cunoaște ce se întîmplă în interiorul ei. Totuși teoria relativității, care prezice existența găurilor negre, poate fi folosită și spre a vedea ce s-ar întîmpla cu un astronaut ce ar cădea într-una din ele. Ceea ce urmează este un sumar al acestor deducții teoretice.

Suprafața găurii este chiar numai o construcție matematică — nu există nici o membrană reală acolo, numai spațiu gol. Astronautul care cade nu și-ar da seama de nici o diferență, atunci cînd el sau ea ar pătrunde în gaură. Totuși suprafața are o semnificație fizică certă și oarecum dramatică. În interiorul găurii gravitația este atît de puternică încît captează lumina, împingînd înapoi fotonii care vor să plece. Aceasta înseamnă că lumina nu poate evada din gaură, de aceea ea apare neagră dinspre exterior. Deoarece nici un obiect fizic și nici o informație nu pot călători mai repede decît lumina, nimic nu mai poate evada din gaura neagră,

odată trecută această graniță. Evenimentele ce au loc în interiorul găurii sînt pentru totdeauna ascunse observatorilor externi. De aceea ne referim la suprafața găurii ca la un „orizont al evenimentului“, pentru că separă evenimentele din exterior ai căror martori putem fi de departe, de cele din interior ce nu pot fi observate. Efectul este totuși doar într-un sens. Astronautul din interiorul „orizontului evenimentului“ mai poate vedea universul din exterior, deși pe el (astronautul) nimeni de afară nu îl poate vedea.

Cînd astronautul se scufundă mai adînc în gaură, cîmpul gravitațional crește. Unul din efecte este deformarea corpului. Dacă astronautul cade în picioare, picioarele vor fi mai aproape decît capul de centrul găurii unde gravitația este mai puternică. Ca rezultat picioarele vor fi trase în jos mai tare, trăgînd trupul în lungime. În același timp umerii vor fi împinși înspre centru pe căi convergente, astfel încît astronautul va fi presat din toate părțile. Acest proces de întindere și presare este un fel de „spaghetificare“.

Teoria sugerează că în centrul găurii negre gravitația crește fără limite. Deoarece cîmpul gravitațional se manifestă ca o curbare sau deformare spațiu-timp, creșterea gravitației este însoțită de o deformare a acestuia care se ridică tot la limite necunoscute. Matematicienii se referă la această trăsătură numind-o o singularitate spațio-temporală. Aceasta reprezintă un capăt sau o margine a spațiului și timpului prin care conceptul normal de spațiu-timp nu mai poate fi continuat. Mulți fizicieni cred că singularitatea în interiorul găurii negre reprezintă sfîrșitul spațiului și timpului și că în mod autentic orice lucru care-l întâlnește va fi complet anihilat. Dacă așa se întîmplă, atunci chiar atomii corpului astronautului vor dispărea în interiorul singularității într-o nanosecundă de „ultraspaghetificare“.

Dacă gaura neagră are masa egală cu zece milioane de sori similară cu gaura neagră care s-ar putea afla în centrul Căii Lactee și este fără rotație, atunci durata resimțită de astronaut în cădere de la orizontul evenimentului pînă la singularitatea de anihilare va fi de aproximativ trei minute. Aceste ultime trei minute vor fi foarte neplăcute; în practică, „spaghetificarea” îl va ucide pe nefericitul individ mult înainte ca singularitatea să fie atinsă. În timpul acestei faze finale, el nu va putea în nici un caz să vadă singularitatea fatală, pentru că lumina nu poate ieși de acolo. Dacă respectiva gaură neagră are exact o masă solară, raza sa este de circa trei kilometri, iar călătoria de la orizontul evenimentului pînă la singularitate va dura cîteva microsecunde.

Deși timpul scurs pînă la distrugere este foarte scurt după cum s-a văzut în cadrul experienței astronautului în cădere, deformarea în timp a găurii este de așa natură, încît văzută de departe, ultima călătorie a astronautului pare a avea loc cu încetinitorul. Cînd astronautul se apropie de orizontul evenimentului, mersul lucrurilor în vecinătatea sa apare observatorului îndepărtat ca încetinind din ce în ce. În fapt se pare că trebuie să treacă un timp infinit pînă cînd astronautul să ajungă la orizont. Astfel, ceea ce pare o eternitate în regiunile depărtate ale universului este trăit în mare grabă de astronaut. În acest sens, o gaură neagră este un fel de poartă către sfîrșitul universului, o fundătură cosmică reprezentînd ieșirea spre nicăieri. O gaură neagră este o regiune mică a spațiului care conține sfîrșitul timpului. Aruncîndu-se în ea, cei care ar fi curioși să afle sfîrșitul universului pot să-l experimenteze în mod direct pentru ei înșiși. Deși gravitația este de departe cea mai slabă forță a naturii, acțiunea sa insidioasă și cumulativă servește pentru a hotărî soarta finală nu numai a obiectelor astronomice indi-

viduale, dar și a întregului cosmos. Aceeași atracție care distruge fără remușcări o stea operează pe o scară mult mai mare la nivelul universului ca întreg. Consecința acestei atracții universale depinde de cantitatea totală de materie de atras. Pentru a o afla trebuie să cântărim universul.

Cîntărind universul

Se spune adesea că ceea ce pleacă trebuie să și revină. Atracția gravitațională asupra unui corp proiectat să se înalțe spre cer îl determină să-și frîneze zborul și să se întoarcă pe Pămînt. Dar nu totdeauna. Dacă el se mișcă destul de repede atunci poate totuși să scape de gravitația terestră și să zboare în spațiu, fără a se mai întoarce niciodată. Rachetele care lansează nave spațiale interplanetare reușesc să dobîndească aceste viteze mari.

Viteza critică „de evadare” este de aproximativ 11 kilometri pe secundă (25 mii de mile pe oră) — de peste 20 de ori viteza lui Concorde. Acest număr critic derivă atît din masa Pămîntului — cantitatea de materie pe care o conține — cît și din raza sa. Pentru un corp de masă dată, cu cît el este mai mic, cu atît gravitația sa superficială este mai mare. A evada din sistemul solar înseamnă a învinge gravitația soarelui: viteza de evadare necesară este de 618 kilometri pe secundă. Evadarea din Calea Lactee cere și o viteză de cîteva sute de kilometri pe secundă. La cealaltă extremă viteza de evadare pentru un obiect compact cum ar fi o stea neutronică este de zeci de mii de kilometri pe secundă, în timp ce pentru o gaură neagră ar fi necesară viteza luminii (300 000 kilometri pe secundă).

Dar pentru a evada din univers? Așa cum am subliniat în capitolul 2, universul nu pare a avea o margine din care să evadăm, dar dacă pretindem că o are și că aceasta este situată la limita observațiilor noastre (la o distanță de aproximativ 15 miliarde ani lumină), atunci viteza de evadare va fi aproape de viteza luminii. Acesta este un rezultat foarte semnificativ, deoarece cele mai depărtate galaxii par să se îndepărteze de noi cu o viteză apropiată de cea a luminii. Galaxiile par să zboare atât de repede, încît chiar că ar putea să „evadeze” din univers sau cel puțin una față de alta, fără a mai „reveni vreodată”.

De fapt, se dovedește că universul expansionist se comportă de o manieră analogă unui corp proiectat de pe Pămînt, chiar dacă marginea nu este atât de bine definită. Dacă viteza expansiunii este suficient de mare, galaxiile în retragere vor scăpa de gravitația cumulativă a întregului material din univers și expansiunea va continua pentru totdeauna. Pe de altă parte, dacă viteza este prea mică, se va ajunge în final la o oprire, iar universul va începe să se contracte. Atunci galaxiile „vor veni” din nou și ultima catastrofă cosmică se va produce cînd întregul univers se va nărui.

Care dintre aceste scenarii va avea loc? Răspunsul depinde de compararea a două cifre. Pe de o parte, viteza expansiunii, pe de altă parte, atracția gravitațională totală a universului — de fapt greutatea lui. Cu cît este mai mare atracția gravitațională, cu atît mai repede trebuie să se extindă universul pentru a o învinge. Astronomii pot măsura rata expansiunii direct, observînd efectul deplasării spre roșu: totuși răspunsul este încă controversat. A doua cantitate — greutatea universului — este încă și mai problematică.

Cum să cîntărim universul? Pare o sarcină descurajantă: în mod evident nu o putem face direct. Totuși

putem fi capabili să-i deducem greutatea folosind teoria gravitației. O limită inferioară se poate atinge direct. Este posibil să aflăm greutatea soarelui măsurînd atracția sa gravitațională asupra planetelor. Apoi cunoscînd faptul că galaxia noastră conține aproximativ 100 miliarde de stele avînd în medie circa o masă solară, aceasta ne dă *grosso modo* o limită inferioară a masei galaxiei. Putem acum aduna toate galaxiile din univers. Nu le putem însuma individual — sînt prea multe —, dar o bună estimare este de zece miliarde. Aceasta ajunge cam la 10^{21} mase solare sau aproximativ 10^{48} tone în total. Luînd raza acestei mulțimi de galaxii ca fiind 15 miliarde ani lumină, putem calcula valoarea minimă a vitezei de evadare din univers: răspunsul se adeverește a fi cam un procent din viteza luminii. Putem trage concluzia că dacă masa universului ar fi datorată doar stelelor, universul ar evada din propria sa atracție gravitațională și s-ar extinde pe vecie.

Este într-adevăr ceea ce mulți oameni de știință cred că se va întîmpla. Dar nu toți astronomii și cosmologii sînt convinși că adunarea s-a făcut corect. Materialul pe care-l vedem este fără îndoială subevaluat față de ce există într-adevăr acolo, deoarece nu toate obiectele din univers strălucesc. Corpurile întunecate, cum sînt stelele palide, planetele sau găurile negre, scapă atenției noastre. Există și o mare cantitate de praf și gaz, dintre care cea mai mare parte nu se poate vedea. În plus, spațiile dintre galaxii nu sînt chiar lipsite de materie, acolo se pot afla mari cantități de gaze rarefiate.

O posibilitate mai interesantă a atras atenția astronomilor timp de mai mulți ani. Explozia inițială din care s-a născut universul a fost sursa întregii materii pe care o vedem, dar a fost și sursa pentru multă materie pe care nu o vedem acum. Dacă universul a început ca un amestec foarte fierbinte de particule sub-

atomice, atunci — în afară de obișnuții protoni, electroni și neutroni care au format materia obișnuită, tot felul de alte particule, recent identificate în laborator de fizicienii de particule, trebuie și ele să fi fost create în cantități mari. S-a constatat că cele mai multe din aceste diferite tipuri de particule sînt foarte instabile și s-ar fi descompus curînd, dar unele pot să persiste pînă astăzi ca relicve ale originii cosmosului.

Printre principalele relicve de interes se numără neutrinii, aceste particule fantomatice a căror activitate a fost relevată de supernove (v. capitolul 4). După cîte știm, neutrinii nu se pot descompune în alte particule. (Actualmente există trei tipuri diferite de neutrini și ei pot fi capabili să se transforme unii în alții, dar voi neglija această complicație pentru moment.) Deci ne așteptăm ca universul să fie scaldat într-o mare de neutrini cosmici rămași de la explozia inițială. Presupunînd că energia din universul primordial a fost împărțită democratic între toate particulele subatomice, este posibil să se calculeze cîți neutrini cosmici ar trebui să existe. Răspunsul arată cam un milion de neutrini pe centimetrul cub de spațiu sau cam un miliard de neutrini pentru fiecare particulă de materie obișnuită.

Am fost totdeauna foarte fascinat de această concluzie remarcabilă. În orice moment există aproximativ o sută de miliarde de neutrini în interiorul corpului nostru, aproape toți relicve ale exploziei inițiale, rămase mai mult sau mai puțin intacte din prima milisecundă de existență. Deoarece neutrinii se mișcă cu — sau aproape cu — viteza luminii, ei ne traversează cu atîta repeziciune, încît în fiecare secundă pătrund în corpul nostru o sută de miliarde de miliarde de exemplare. Această violare neîncetată are loc fără să o băgăm de seamă, deoarece interacțiunea neutrinelor cu materia obișnuită este atît de slabă încît este o probabilitate

neglijabilă ca măcar unul dintre ei să se oprească în interiorul corpului nostru în decursul vieții. Totuși existența atîtor neutrini împrăștiați peste tot, în spațiile aparent goale ale universului, ar putea avea profunde consecințe asupra sorții sale finale.

Deși neutrinii interacționează foarte slab, ei exercită o forță gravitațională la fel ca și celelalte particule. Ei pot să nu respingă sau să nu atragă materia înconjurătoare în mod direct, dar efectele lor gravitaționale indirecte s-ar putea dovedi cruciale, adăugîndu-se la masa totală a universului. Pentru a determina cît de mult contribuie neutrinii este necesar să le determinăm masa.

Cînd este vorba de gravitație, mai mult contează masa reală decît cea de repaus. Deoarece neutrinii se mișcă cu o viteză apropiată de viteză luminii ei pot să aibă o masă semnificativă chiar dacă masa lor de repaus este mică. Într-adevăr ei pot avea masa de repaus chiar zero și să se miște cu viteza luminii. Dacă este așa, masa lor reală trebuie determinată referindu-ne la energia lor, care în cazul neutrinelor cosmici relicve poate fi dedusă din energia presupusă primită la explozia inițială. Această energie originală trebuie apoi corectată cu un factor care să țină seama de efectul de slăbire al expansiunii universului. După ce s-a făcut acest lucru, neutrinii cu masa de repaus zero se dovedesc a *nu* aduce o contribuție semnificativă la greutatea totală a universului.

Pe de altă parte, nu putem fi siguri că neutrino-ul are o masă de repaus zero și nici că toate cele trei feluri de neutrini au aceeași masă de repaus. Cunoașterea noastră teoretică actuală a neutrinelor nu exclude existența unei mase finite de repaus și astfel devine o chestiune de experiment de a determina masa reală. Așa cum am menționat în capitolul 4, știm că dacă un neutrino are o masă de repaus, ea este cu siguranță foarte mică,

mult mai mică decît masa de repaus a oricărei alte particule cunoscute. Totuși, datorită faptului că există atît de mulți neutrini în univers, chiar și o masă mică de repaus ar putea duce la o mare diferență în greutatea totală a universului. Totul se echilibrează în mod subtil. Chiar o masă cîntărind a zecea mia parte din masa electronului (de altfel, cea mai ușoară particulă cunoscută) ar fi suficientă pentru a produce un impact dramatic, neutrinii ar cîntări atunci mai mult decît toate stelele.

A găsi o masă de repaus atît de mică este foarte dificil și rezultatele experimentale au fost confuze și contradictorii. În mod ciudat, detectarea neutrinelor de la supernova 1987 A a furnizat un indiciu important. S-a observat deja că dacă neutrinii au masa de repaus zero, atunci ei ar trebui să călătorească toți *exact* cu aceeași viteză — viteza luminii. Pe de altă parte, dacă un neutrino are o masă de repaus mică, dar nu chiar zero, atunci ar fi posibile un întreg șir de viteze. Neutrinii proveniți dintr-o supernovă par a avea multă energie și a se mișca de aceea cu o viteză apropiată de viteza luminii, chiar dacă nu au masa de repaus zero. Totuși, deoarece ei vor fi călătorit prin spațiu un timp îndelungat, variații mici de viteză ar putea să se traducă prin variații măsurabile ale momentului sosirii pe Pămînt. Studiind distanța pînă la care neutrinii din supernova 1987 A au fost împrăștiți în timp, o limită superioară a masei lor de repaus poate fi plasată la aproximativ a treizecea mia parte din masa electronului. Din păcate, situația se complică și mai mult deoarece sînt cunoscute a exista mai multe tipuri de neutrini. Majoritatea determinărilor de mase de repaus se referă la neutrino-ul originar postulat de Pauli, dar de la descoperirea lui a mai apărut un al doilea tip de neutrino și un al treilea se prefigurează. Toate cele trei feluri de neutrini trebuie să fi fost create din abundență

în explozia inițială. Este foarte dificil de găsit limite de masă pentru celelalte două tipuri de neutrini. Experimental, șirul valorilor posibile este foarte mare, totuși teoreticienii cred în general că neutrinii nu predomină în masa universului. Oricum, acest sentiment s-ar putea lesne schimba în lumina noilor determinări experimentale ale maselor neutrinelor.

Neutrinii nu sînt singurele posibile relicve cosmice pe care trebuie să le luăm în considerare cînd estimăm greutatea universului. Mai sînt și alte particule stabile, interacționînd slab, care ar fi putut fi create în explozia inițială, poate chiar cu mase mai mari. (Dacă masa de repaus devine prea mare, producția lor este curmată față de cele cu masă mai mică, deoarece e nevoie de mai multă energie pentru a le produce.) Toate aceste particule sînt cunoscute sub numele de „PMIS” (*WIMPs*), de la „Particule Masive Interacționînd Slab” (*Weakly Interacting Massive Particles*). Teoreticienii au chiar o listă a acestor ipotetice PMIS-uri, ele purtînd nume ciudate, ca: *gravitini*, *higgsini* sau *fotini* (*gravitinos*, *Higgsinos*, *photinos*). Nimeni nu știe dacă ele există în realitate, dar dacă da, ele trebui să fie luate în considerare în determinarea greutateii universului.

Este de remarcat faptul că ar fi posibil de testat existența PMIS-urilor în mod direct, din modul cum se presupune că interacționează cu materia obișnuită. Deși se presupune că această interacțiune este foarte slabă, marea lor masă le permite să capete multă forță. Experimentele într-o mină de sare din nord-estul Angliei și de sub un baraj de lîngă San Francisco au fost plănuite pentru a surprinde trecerea PMIS-urilor. Presupunînd că universul este plin de ele, ar trebui ca un număr enorm de astfel de particule să traverseze Pămîntul și pe noi înșine în mod permanent. Principiul experimentului este uimitor: să detecteze *sunetul* pe care un PMIS îl face cînd se izbește de un nucleu atomic.

Aparatul este alcătuit dintr-un cristal de germaniu sau de siliciu înconjurat de un sistem de răcire. Dacă un PMIS lovește un nucleu în cristal, momentul său va determina nucleul să ricoșeze. Șocul rapid creează o slabă undă sonoră sau vibrație în rețeaua de cristal. Pe măsură ce unda se împrăștie, ea slăbește și se transformă în energie termică. Experimentul este menit să detecteze orice creștere mică de temperatură asociată cu descompunerea undei sonore. Răcind cristalul la aproape zero absolut, detectorul este extrem de sensibil la injectarea oricărei energii calorice.

Teoreticienii presupun că galaxiile sînt scufundate într-o masă formată dintr-un furnicar de PMIS-uri care se mișcă ușor, cu mase ce pot fi cuprinse între una și o mie de mase protonice și viteze tipice de cîteva mii de kilometri pe secundă. În vreme ce sistemul nostru solar orbitează în galaxie, el se învîrtește prin această mare invizibilă și fiecare kilogram de materie de pe Pămînt ar putea împrăștia cam o mie de PMIS-uri pe zi. Dat fiind această viteză a evenimentului, rezultă că detectarea directă a PMIS-urilor ar trebui să fie posibilă.

În timp ce vînătoarea de PMIS-uri continuă, problema cîntăririi universului a fost și ea atacată de astronomi. Chiar dacă un corp nu poate fi văzut (sau auzit), efectele atracției sale gravitaționale pot totuși să fie vizibile. De exemplu, planeta Neptun a fost descoperită datorită faptului că astronomii au observat că orbita lui Uranus era perturbată de forța gravitațională a unui corp necunoscut. Steaua palidă, pitica albă Sirius B, rotindu-se în jurul strălucitorului Sirius, a fost descoperită în același mod. Deci, supraveghind mișcarea obiectelor vizibile, astronomii pot construi și o imagine a materiei nevăzute. (Am explicat deja cum această tehnică a condus la bănuiala că ar putea să existe o gaură neagră în Cygnus X-1.)

În ultimele două decenii, s-au făcut studii serioase asupra modului în care se mișcă stelele în galaxia noastră. Stelele se rotesc în jurul centrului galactic pe o scară de timp ce depășește 200 milioane de ani. Galaxia are forma aproximativă de disc, cu o mare concentrare de stele în jurul centrului. Este astfel o reală asemănare cu sistemul solar, în care planetele se rotesc în jurul soarelui; dar acolo, planetele interioare ca Mercur sau Venus se mișcă mai repede decât cele periferice, ca Uranus și Neptun, pentru că planetele interioare simt mai puternic atracția gravitațională a soarelui. Trebuie să ne așteptăm ca această regulă să se aplice și galaxiei; stelele mai apropiate de periferia discului ar trebui să se miște mult mai încet decât cele apropiate de centru.

Totuși observațiile contrazic acest lucru. Stelele se mișcă aproximativ cu aceeași viteză prin întregul disc. Explicația trebuie să fie căutată în faptul că masa galaxiei nu este concentrată spre mijlocul ei, ci este împrăștiată peste tot, mai mult sau mai puțin uniform. Faptul că galaxia *apare* ca și cum ar fi concentrată către mijloc sugerează că materialul luminos este numai o parte din total. În mod evident există o mulțime de material întunecat sau invizibil, o parte importantă din el aflându-se în regiunile îndepărtate ale discului, accelerând stelele din această zonă. Ar putea exista chiar mari cantități de material întunecat dincolo de marginea vizibilă și dincolo de planul discului luminos, înconjurând Calea Lactee cu un halo masiv care se întinde departe, în spațiul intergalactic. O mișcare asemănătoare este observată și în alte galaxii. Măsurătorile indică faptul că regiunile vizibile ale galaxiilor sînt în medie cam de zece ori mai mari decât o sugerează strălucirea lor (în raport cu soarele), iar raportul crește pînă la 5 000 în cele mai îndepărtate regiuni.

Același tip de concluzie se desprinde și din studiul mișcărilor galaxiilor în interiorul roiurilor galactice. În mod evident, dacă o galaxie se mișcă suficient de repede, ea scapă atracției gravitaționale a roiului. Dacă toate galaxiile din roiul galactic se mișcă tot atît de repede, atunci el se va dezagrega curînd. Un exemplu tipic de roi cu cîteva sute de galaxii se află în constelația Coma și a fost studiat intens. Viteza medie a galaxiilor din Coma este mult prea mare pentru ca roiul să le mențină împreună, dacă nu este cel puțin de trei sute de ori mai multă masă prezentă acolo decît o sugerează materia luminoasă. Deoarece o galaxie tipică are nevoie de numai aproximativ un miliard de ani pentru a traversa roiul Coma, înseamnă că roiul a avut pînă acum destul timp pentru a se dispersa. Totuși acest lucru nu s-a întîmplat încă, iar structura roiului dă puternic impresia de a fi mărginit gravitațional. În mod evident, o anumită formă de materie neluminoasă pare a fi prezentă acolo în cantități substanțiale și influențează mișcarea galaxiilor.

O altă sugereare a materiei nevăzute derivă și din examinarea structurii la scară foarte mare a universului — felul în care roiurile și superroiurile de galaxii se grupează. Așa cum am explicat în capitolul 3, galaxiile sînt așezate într-o manieră reminiscentă de spumă, strînse în fișii sau împrăștiate în uriașe straturi încercuind imense goluri. O asemenea structură îngrămădită și spumoasă nu putea să se fi format în timpul scurs de la explozia inițială, fără atracția gravitațională suplimentară a materiei neluminoase. Simulările pe calculator, făcute pînă la ora actuală, nu pot totuși reproduce această structură spumoasă cu vreo formă simplă de materie neluminoasă și s-ar putea ca ceva mult mai complicat să fie necesar.

Atenția oamenilor de știință a fost focalizată de exotice particule subatomice în calitate de candidați pentru

materia întunecată, dar ar putea exista în mai multe forme convenționale, cum ar fi mase de mărimea planetelor sau stele palide. Mulțimi de astfel de obiecte întunecate ar putea rătăci în spațiul din jurul nostru fără ca noi să fim conștienți de aceasta. Recent, astronomii au descoperit o tehnică ce ar putea determina existența corpurilor întunecate nemărginite gravitațional față de cele vizibile. Tehnica folosește un rezultat al teoriei generale a relativității a lui Einstein cunoscut sub numele de *curbare gravitațională*.

Ideea se bazează pe faptul că gravitația poate curba raze luminoase. Einstein a prevăzut că dacă o rază luminoasă de la o stea trece prin apropierea soarelui, ea va fi ușor curbată, de aceea poziția aparentă a acelei stele pe cer va fi deplasată. Comparînd poziția stelei cu și fără soare în vecinătatea sa, prezicerea poate fi testată. Acest lucru a fost făcut pentru prima dată de astronomul britanic, Sir Arthur Eddington în 1919 și a confirmat în mod strălucit teoria lui Einstein.

Și lentilele curbează razele luminoase și, ca rezultat, pot focaliza lumina pentru a forma o imagine. Dacă un corp masiv este suficient de simetric, el poate acționa ca o lentilă și focaliza lumina de la o sursă aflată la distanță. Fig. 6.1 arată cum. Lumina de la o sursă *S* cade pe un corp sferic, iar gravitația corpului curbează lumina în jurul său, direcționînd-o spre un punct focal aflat mai departe. Efectul de curbare este slab pentru majoritatea obiectelor, dar, la distanțe astronomice, chiar o curbare mică a razei luminoase va produce pînă la urmă o focalizare. Dacă acest corp se interpune între Pămînt și sursa *S* aflată la distanță, atunci efectul va fi o imagine strălucitoare a lui *S* sau, în cazuri excepționale cînd direcția de vedere este exactă, va apărea ca un cerc strălucitor de lumină, cunoscut ca inelul lui Einstein. Pentru corpurile cu forme mai complicate,

curbura va produce probabil mai multe imagini, nu una singură focalizată. Astronomii au descoperit un număr de curbări gravitaționale la scară cosmologică: galaxii, într-o aliniere aproape perfectă între Pământ și quasarii îndepărtați, produc multe imagini ale acestor quasari și, în unele cazuri, arce sau chiar inele întregi de lumină provenind de la quasari.



FIGURA 6.1 Curbura gravitațională. Gravitația corpului masiv (ștrop) curbează razele luminoase provenind de la o sursă îndepărtată *S*. Într-un caz favorabil aceasta ar produce un efect de focalizare. Un observator aflat în focar ar vedea un inel de lumină în jurul corpului.

Pentru a repera planetele întunecate și stelele pitice neluminoase, astronomii pot căuta semne edificatoare ale curbării ce s-ar produce dacă corpul întunecat în chestiune s-ar interpune exact între Pământ și o stea. Imaginea steii și-ar spori sau scădea strălucirea într-un mod distinctiv, după cum corpul se mișcă pe linia vizuală. Deși corpul însuși ar rămâne invizibil, prezența sa s-ar face simțită prin efectul de curbare. Unii astronomi folosesc această tehnică în căutarea obiectelor întunecate din haloul Căii Lactee. Deși probabilitatea unei alinieri exacte cu o stea îndepărtată este incredibil de mică, dacă acolo se află destule obiecte întunecate, curbura gravitațională ar trebui să fie observată. La sfârșitul lui 1993, o echipă australiano-americană ce observa stele în Marele Nor al lui Magellan de la observatorul Mt. Stromlo a raportat ceea ce părea a fi primul exemplu clar de curbură gravitațională datorată unei stele pitice din haloul galaxiei noastre.

Găurile negre se vor comporta, de asemenea, ca obiecte ce produc curbura gravitațională și s-au făcut cercetări intense, folosind radio surse extragalactice (unde radio sînt curbate în același fel ca undele luminoase). S-au găsit foarte puțini asemenea candidați, dînd impresia că găurile negre de masă stelară sau galactică nu ar conține prea multă materie întunecată.

Nu toate găurile negre ar putea fi dezvăluite totuși prin acest procedeu de curbare. Este posibil ca circumstanțele extreme ce prevalau la scurt timp după explozia inițială să fi favorizat formarea găurilor negre microscopice, poate nu mai mari decît un nucleu atomic. Asemenea obiecte ar avea o masă echivalentă cu cea a unui asteroid. O mare cantitate de masă ar putea fi efectiv ascunsă în această formă și împrăștiată peste tot în univers. În mod surprinzător, este posibil să plasăm limite de observare chiar asupra acestor entități bizare. Motivul privește ceea ce se cheamă efectul Hawking pe care-l voi explica mai clar în capitolul 7. Pe scurt, găurile negre microscopice par să explodeze în mijlocul unui duș de particule încărcate electric. Explozia are loc după un timp anumit ce depinde de mărimea găurii: găurile mai mici explodează mai repede. O gaură cu masa cît a unui asteroid va exploda după zece miliarde de ani, ceea ce înseamnă cam acum. Unul dintre efectele unei astfel de explozii ar fi crearea unei pulsații bruște de unde radio, așa cum au verificat radioastronomii. Nu s-au mai detectat astfel de pulsații și s-a calculat că din această cauză nu mai poate avea loc mai mult de o explozie o dată la trei milioane de ani într-un spațiu de un an lumină cub. Aceasta înseamnă că numai o mică fracțiune din masa universului are forma găurilor negre microscopice.

În general, estimările cantității de materie întunecată în univers variază de la un astronom la altul. Se pare că

materia întunecată o depășește în greutate pe cea luminoasă de cel puțin zece ori și uneori se citează cifre de o sută la unu. Este un gând ciudat că astronomii nu știu din ce este formată cea mai mare parte a universului. Stelele, care pînă nu demult au fost presupuse că alcătuiesc majoritatea universului, se dovedesc a nu reprezenta decît un mic procent din total.

Pentru cosmologie, chestiunea crucială este dacă există suficientă materie pentru a opri expansiunea universului. Densitatea minimă a materiei și care nu reușește să oprească expansiunea exact la limită se numește „densitate critică”. Valoarea sa poate fi aproximată la de o sută de ori densitatea materiei vizibile. O asemenea cantitate rămîne posibilă pe hîrtie, deși poate doar atît. Se speră că cercetarea materiei întunecate ne va furniza în curînd un răspuns clar, afirmativ sau negativ, pentru că de el atîrnă nici mai mult, nici mai puțin decît soarta universului.

La actualul stadiu de cunoaștere, nu putem spune dacă universul se va extinde mereu sau nu. Dacă el va începe în cele din urmă să se contracte, întrebarea ce se pune este cînd se va produce aceasta. Răspunsul depinde în mod sigur de cît de mult depășește greutatea universului greutatea critică. Dacă o depășește doar cu un procent, universul va începe să se contracte peste aproximativ un milion de ani; dacă o depășește cu zece procente, contracția va începe peste 100 miliarde de ani.

Între timp, unii teoreticieni cred că ar fi posibil să stabilească greutatea universului doar prin calcul, fără a fi necesare observații directe dificile. Credința că ființa umană ar putea să aibă profunde cunoștințe cosmologice pur și simplu prin puterea raționamentului urmează tradiția provenind de la filozofii Greciei antice. În era științei, un număr de cosmologi a încercat

să formuleze scheme matematice care ar prezenta masa universului ca o cantitate fixată ca valoare printr-un set de principii. Sînt mai ales înșelătoare sistemele în care numărul exact de particule din univers este determinat în termenii unei formule numerice. Astfel de reflecții nefondate n-a convins pe majoritatea oamenilor de știință, oricît de fascinante ar fi. În anii din urmă totuși, a devenit populară o teorie mai convingătoare care face o predicție clară despre masa universului. Acesta este scenariul inflaționist discutat în capitolul 3. Una din prezicerile teoriei inflaționiste privește cantitatea de materie din univers. Să presupunem că universul a început cu o densitate a materiei mult mai mare sau cu una mai mică decît valoarea critică-limită la care colapsarea nu poate avea loc. Cînd universul își ia startul, densitatea se modifică în mod spectaculos și teoria prezice că el se apropie foarte curînd de densitatea critică. Pe măsură ce are loc inflația universului, densitatea se apropie de cea critică. În versiunea standard a teoriei, inflația durează foarte puțin; astfel, dacă nu cumva, ca prin miracol, universul a început chiar cu densitatea critică, el va ieși din faza inflaționistă cu o densitate ceva mai mare sau ceva mai mică decît cea critică.

Totuși, apropierea de densitatea critică se produce în timpul fazei inflaționiste cu o viteză exponențială mare, astfel încît valoarea finală a densității ajunge probabil foarte aproape de valoarea critică, chiar pentru perioade inflaționiste ce durează doar o mică fracțiune de secundă. Înțelesul lui „exponențial” este aici acela că pentru aproximativ fiecare clipă în plus în care inflația persistă, timpul ce se va scurge între explozia inițială și începerea contracției se *dublează*. Astfel dacă, spre exemplu, 100 clipe de inflație fac ca universul să se contracte după 100 miliarde de ani, atunci 101 clipe fac ca

această contracție să aibă loc după 200 miliarde de ani, în timp ce 110 clipe de inflație o implică după 28 bilioane de ani. Și așa mai departe. Cît a durat inflația? Nimeni nu știe, dar, pentru ca teoria să explice cu succes tot puzzle-ul cosmologic pe care l-am descris, ea trebuie să dureze măcar un minim de clipe (cam 100; cifra este elastică). Oricum, nu există o limită superioară. Așa că, dacă nu cumva printr-o extraordinară coincidență, universul s-ar fi extins numai minimum necesar pentru a explica observațiile noastre curente, atunci densitatea după inflație ar putea avea tot o valoare aflată sub sau deasupra celei critice, caz în care observațiile ce vor veni ar trebui să poată detecta epoca de contracție sau faptul că nu va avea loc o contracție. Mult mai plauzibil este faptul că inflația a continuat mult mai multe clipe decît minimul, rezultînd o densitate foarte apropiată de valoarea critică. Aceasta înseamnă că dacă universul va începe să se contracte, asta se va întîmpla numai după o perioadă de timp care să reprezinte de mai multe ori vîrsta actuală a universului. În acest caz, ființele umane nu vor putea *niciodată să cunoască* soarta universului pe care-l locuiesc.

Pentru totdeauna reprezintă un timp îndelungat

Un lucru foarte important despre infinit este că el nu reprezintă numai un număr foarte mare. Infinitul este calitativ diferit de ceva care este doar uimitor, inimaginabil de mare, dar finit. Să presupunem că universul nu ar avea sfârșit. Pentru ca el să dureze de-a lungul eternității ar trebui ca el să aibă o viață infinită. Așa stînd lucrurile, *orice* proces fizic, oricît de încet sau improbabil, *ar trebui* să se producă totuși odată și odată, așa cum o maimuță care bate mereu la mașină ar ajunge să dactilografieze în cele din urmă operele lui William Shakespeare.

Un exemplu bun este furnizat de fenomenul emisiei undelor gravitaționale de care am vorbit în capitolul 5. Numai în cazul celor mai violente procese astronomice, energia pierdută prin radiația gravitațională produce schimbări remarcabile. Emisia de aproximativ un miliwatt cauzată de rotația Pământului în jurul soarelui are un efect infinitezimal asupra mișcării Pământului. Totuși, chiar o putere de doar un miliwatt, extinsă peste bilioane și bilioane de ani, ar putea determina pînă la urmă Pământul să se îndrepte pe o traiectorie spiralată în soare. Bineînțeles, este probabil să fim înghițiți de soare cu mult timp înainte de aceasta, dar ideea este că

procesele care sînt neglijabil de încete la o scară a timpului omenesc sînt totuși persistente, putînd în cele din urmă să devină predominante și să determine astfel soarta finală a sistemelor fizice.

Să ne imaginăm starea universului după o foarte, foarte lungă perioadă în viitor, să spunem după un bilion de bilioane de ani. Stelele vor fi ars de mult; universul este întunecat. Dar nu este gol. Printre imensele genuni negre ale spațiului se strecoară găuri negre rotitoare, rățăcesc stele neutronice și pitice negre — chiar cîteva corpuri planetare. În această epocă densitatea unor astfel de obiecte este extrem de mică, universul s-a mărit de zece mii de bilioane de ori față de dimensiunea actuală.

Gravitația ar da o bătălie ciudată. Universul în expansiune încearcă să împingă fiecare obiect cît mai departe de vecinii săi, în timp ce atracția gravitațională mutuală se opune și încearcă să adune corpurile la un loc. Ca rezultat, unele grupări de corpuri — de exemplu, roiurile de galaxii, sau ce trece drept galaxii după epoci de degenerare structurală — rămîn legate gravitațional, dar aceste aglomerări se îndepărtează și mai mult de cele vecine. Sfîrșitul acestei lupte decisive depinde de cît de repede descrește viteza de expansiune a universului. Cu cît densitatea materiei în univers este mai mică, cu atît mai „încurajate” sînt aceste grupări de obiecte să se degaje de vecinii lor și să se miște liber și independent.

În interiorul unui sistem cu legături gravitaționale, își exercită dominația lentele dar inexorabilele procese de gravitație. Emisia undei gravitaționale, oricît de slabă ar fi, macină mereu energia sistemului, determinînd o spirală înceată a morții. Treptat, stelele moarte se tîrăsc către alte stele moarte sau găuri negre, contopindu-se într-un proces extins de canibalism, o adevărată orgie.

Sînt necesari un bilion de bilioane de ani pentru ca undele gravitaționale să degenereze complet orbita soarelui — o cenușă de pitică neagră alunecînd ușor către centrul galactic unde o gaură neagră gigantică așteaptă să o înghită.

Totuși nu este în nici un caz sigur că soarele mort își va afla sfîrșitul în acest fel, pentru că dacă se scufundă încet spre interior, va întîlni eventual alte stele. Uneori va trece prin apropierea unui sistem binar — o pereche de stele închise într-o înlănțuire gravitațională. Acest lucru este propice pentru un fenomen ciudat numit praștie gravitațională. Mișcarea a două corpuri pe orbită unul față de altul se desfășoară cu o clasică simplitate. Această problemă — sub forma mișcării unei planete în jurul soarelui — i-a preocupat pe Kepler și Newton și a condus la nașterea științei moderne. Într-o situație idealizată și ignorînd radiația gravitațională, mișcarea planetei este regulată și periodică. Oricît timp ar trece, planeta evoluează pe orbită în același mod. Situația este total diferită totuși, dacă este prezent și un al treilea corp — să spunem o stea și două planete — sau trei stele. Mișcarea nu mai este nici simplă, nici periodică. Modelul forțelor mutuale dintre cele trei corpuri se schimbă mereu într-un fel complicat. Ca rezultat, energia sistemului nu este împărțită în mod egal între participanți, chiar dacă sînt corpuri identice. În loc de aceasta, are loc un dans complicat în care întîi un corp, apoi altul capătă „partea leului“ din energie. De-a lungul a mari perioade de timp comportarea sistemului poate fi în esență întîmplătoare: de fapt, problema de dinamică gravitațională a celor trei corpuri este un exemplu bun a ceea ce numim un sistem haotic. Se poate întîmpla ca două din corpuri să se „coalizeze“, cedînd atît de mult din energia lor celui de-al treilea, încît acesta este împins direct în afara sistemului ca un

proiectil dintr-o praștie. De aici termenul de „praștie gravitațională.”

Mecanismul de praștie poate arunca stele din roiuri sau chiar din galaxia însăși. În viitorul îndepărtat, marea majoritate a stelelor moarte, a planetelor sau găurilor negre va fi aruncată astfel în spațiul intergalactic, poate pentru a întâlni alte galaxii ce se dezintegrează sau pentru a hoinări pentru totdeauna prin vastul spațiu gol în extindere. Totuși procesul este lent: va fi necesar un timp ce reprezintă de un miliard de ori vârsta actuală a universului pentru ca el să se desăvârșească. Cele câteva procente de obiecte rămase vor migra, prin contrast, către centrele galaxiilor și vor fuziona pentru a forma imense găuri negre.

Așa cum am explicat în capitolul 5, astronomii au deja suficiente dovezi despre existența unor astfel de găuri negre monstruoase în centrele unor galaxii, care devorează nesățios vârtejurile de gaze, eliberând prin urmare mari cantități de energie. Majoritatea galaxiilor va deveni în timp hrana nebunească a acestora și totul va continua pînă cînd întregul material din jurul găurii negre va fi fie înghițit, fie eventual aruncat pentru a cădea în cele din urmă din nou înapoi sau a se alătura gazelor intergalactice. Atunci umflatele găuri negre se vor liniști, scufundîndu-se în ele doar din cînd în cînd cîte o stea neutronică rătăcitoare sau o mică gaură neagră. Și totuși acesta nu va fi sfîrșitul poveștii găurilor negre. În 1974, Stephen Hawking a descoperit că găurile negre nu sînt chiar complet negre. Ele emit o slabă scînteiere de radiație termică.

Efectul Hawking poate fi înțeles corect numai cu ajutorul teoriei cîmpurilor cuantice, o ramură dificilă a fizicii, la care ne-am referit deja în legătură cu teoria inflaționistă a universului. Să ne reamintim că un punct important al teoriei cuantice este principiul incertitu-

dinii al lui Heisenberg, conform căruia particulele cuantice nu au valori bine definite pentru toate caracteristicile lor. De exemplu, un foton sau un electron nu pot avea o valoare definită pentru energie la un moment dat. Ca urmare, o particulă subatomică poate „împrumuta” energie atît timp cît o dă înapoi cu promptitudine.

Așa cum am arătat în capitolul 3, incertitudinea energiei conduce la unele efecte ciudate, cum ar fi prezența trecătoare în spații în aparență goale a unor particule virtuale sau cu viață scurtă. Aceasta duce la conceptul straniu de „vid cuantic” care, departe de a fi gol sau inert, clocotește de o neobosită activitate a particulelor virtuale. Deși această activitate se desfășoară de obicei neobservată, ea poate produce efecte fizice. Un astfel de efect are loc cînd activitatea în vid este perturbată de prezența unui cîmp gravitațional. Un caz extrem privește particulele virtuale care apar lîngă orizontul de evenimente al unei găuri negre. Să ne amintim că particulele virtuale trăiesc pentru foarte scurt timp din energia împrumutată, după care aceasta trebuie „dată înapoi”, particulele fiind obligate să dispară. Dacă pentru un motiv oarecare particulele virtuale primesc o cantitate suficient de mare de energie provenită de la vreo sursă externă în timpul scurtei lor vieți, împrumutul poate fi achitat pe seama lor. Atunci nu mai există nici o obligație pentru particule să dispară, ca să-și plătească astfel împrumutul. Ca urmare, particulele virtuale se transformă în particule reale, beneficiind de o existență mai mult sau mai puțin permanentă.

Conform lui Hawking, ceea ce se petrece lîngă gaura neagră este o astfel de reglare de conturi. În acest caz, „binefăcătorul” care furnizează energia cerută este cîmpul gravitațional al găurii negre. Iată cum se petrec lucrurile. Particulele virtuale se creează de obicei în

perechi care se mișcă în direcții opuse. Imaginați-vă o astfel de pereche de particule abia apărute chiar în vecinătatea exterioară a orizontului de evenimente. Presupuneți că mișcarea particulelor este astfel încât una din ele vede prin orizontul de evenimente în gaură. Pe măsură ce înaintează, ea va capta o mare cantitate de energie din gravitația intensă a găurii. Această energie, a descoperit Hawking, este suficientă pentru a „achita împrumutul”, astfel încât ambele particule — atât cea din gaură, cât și perechea ei — să devină reale. Soarta particulei din exteriorul orizontului este nesigură. Și ea poate, în cele din urmă, să fie înghițită de gaură sau să se îndepărteze repede de ea, scăpând definitiv. Hawking prezice că ar trebui să existe un puternic flux de astfel de particule răspîndindu-se, din vecinătatea găurii, în spațiu și constituind ceea ce este cunoscut sub numele de radiație Hawking.

Efectul Hawking ar fi mai puternic pentru găurile negre microscopice. Întrucât un electron virtual, de exemplu, poate călători cel mult cu 10^{-11} cm în condiții normale înainte ca împrumutul să fie retractat, numai găurile negre mai mici decât aceasta (de dimensiuni nucleare) vor fi de fapt capabile să creeze un flux de electroni. Dacă gaura este mai mare, majoritatea electronilor virtuali nu va avea timpul necesar pentru a trece prin orizontul de evenimente înainte ca împrumutul să trebuiască restituit.

Distanța pe care o poate parcurge o particulă virtuală depinde de durata ei de viață care, la rîndul ei, depinde — prin principiul incertitudinii al lui Heisenberg — de mărimea împrumutului de energie. Cu cât este mai mare împrumutul, cu atât mai scurtă va fi viața particulei. O componentă majoră a împrumutului de energie este energia masei de repaus a particulei. În cazul unui electron, împrumutul trebuie să fie cel puțin

egal cu energia masei lui de repaus. Pentru o particulă cu o masă de repaus mai mare, de exemplu un proton, împrumutul ar fi mai mare și deci de mai scurtă durată, așa că distanța parcursă ar fi mai mică. De aceea, producerea de protoni prin efectul Hawking necesită o gaură neagră de dimensiuni chiar mai mici decât cele nucleare. Invers, particulele cu o masă de repaus mai mică decât a electronului, de exemplu neutrinii, ar fi create de o gaură neagră de dimensiuni mai mari ca nucleul. Fotonii, care au masa de repaus zero, vor fi creați de o gaură neagră de orice dimensiune. Chiar și o gaură neagră de masă egală cu a soarelui va avea un flux Hawking de fotoni și poate chiar de neutrini; totuși, în acest caz, intensitatea fluxului este foarte slabă.

Folosirea cuvîntului slab aici nu este exagerată. Hawking a găsit că spectrul energiei produse de o gaură neagră este același cu al celei radiate de un corp fierbinte, astfel încît unul din modurile în care se poate exprima puterea efectului Hawking este în termeni de temperatură. Pentru o gaură de dimensiune nucleară (10^{-13} cm) în diametru, temperatura este foarte înaltă — aproximativ zece miliarde de grade. Prin contrast, pentru o gaură neagră cu masa cît o masă solară, ceea ce înseamnă peste un kilometru ca diametru, temperatura depășește pe zero absolut cu mai puțin de-a zecea milioana parte dintr-un grad. Întregul obiect ar emite o radiație Hawking nu mai intensă decât o miliardime de miliardime de miliardime dintr-un watt.

Una din curiozitățile efectului Hawking este că temperatura radiației crește în timp ce masa și dimensiunea găurii negre scad. Aceasta înseamnă că găurile negre mici sînt mai fierbinți decât cele mari. Cînd o gaură neagră emite radiații, ea pierde energie și masă, deci se contractă. Ca rezultat ea se încălzește și radiază mai

puternic și de aceea se contractă din ce în ce mai repede. Procesul este în mod inerent instabil și chiar dispare în cele din urmă, cu gaura neagră emițînd energie și contractîndu-se în dimensiune din ce în ce mai repede.

Efectul Hawking prezice că în final toate găurile negre vor dispărea într-un suflu de radiație. Momentele finale ar fi spectaculoase, pîrînd o detonare a unei uriașe bombe nucleare, o scurtă străfulgerare de energie calorică intensă, urmată de — nimic. Cel puțin așa sugerează teoria. Dar unii fizicieni sînt nefericiți că un obiect material poate colapsa pentru a forma o gaură neagră, care la rîndul său dispare, lăsînd doar o radiație termică. Ei sînt îngrijorați că două obiecte foarte diferite ar putea produce pînă la urmă radiații termice identice, care n-ar da nici o informație despre corpul original. O astfel de dispariție violează tot felul de legi de conservare la care se ținea foarte mult. O propunere alternativă este că gaura ce dispare lasă în urmă ei o mică rămășiță care conține totuși mari cantități de informație. Oricum, covîrșitoarea fracțiune din masa găurii este radiată în spațiu sub formă de căldură și lumină.

Procesul Hawking este aproape de neconceput de încet. Unei găuri negre de masă solară i-ar fi necesari 10^{66} ani pentru a dispărea, în timp ce una supermasivă ar dispărea în 10^{93} ani. Dar procesul nu s-ar opri pînă cînd temperatura ambiantă a universului nu ar scădea sub cea a găurii negre, altfel căldura ce pătrunde în gaură dinspre universul înconjurător depășește pe cea care iese din ea prin efectul Hawking. Radiația cosmică termică de fond păstrată de la explozia inițială este în mod curent la o temperatură de aproximativ trei grade peste zero absolut și ar fi necesari 10^{22} ani pentru ca aceasta să se răcească pînă la nivelul la care ar fi o pierdere netă de căldură de la găuri negre de masă solară. Procesul Hawking nu este ceva ușor de urmărit.

Dar pentru totdeauna reprezintă un timp îndelungat și pînă la urmă toate găurile negre vor dispărea probabil — chiar și cele supermasive —, chinurile morții lor fiind doar scăpărări trecătoare de lumină în întunecimea de cerneală a eternei nopți cosmice, un epitaf pentru existența strălucirii trecute a miliarde de sori.

Ce a mai rămas?

Nu întreaga materie cade în găurile negre. Trebuie să ne gîndim la stelele neutronice, la piticele negre și la planetele solitare ce rătăcesc singure în vastele spații intergalactice, pentru a nu mai menționa puținul gaz și praf care nu s-au unit niciodată pentru a forma stele, precum și asteroizii, cometele, meteoriții și bolovanii dispași de piatră ce se învîlmășesc în sistemele stelare. Oare aceste lucruri supraviețuiesc pe veci?

Aici ne lovim de dificultăți teoretice. Trebuie să știm dacă materia obișnuită — din care sîntem alcătuiți tu, eu și Pămîntul — este absolut stabilă. Cheia viitorului îndepărtat rezidă în mecanica cuantică. Deși procesele cuantice sînt în mod normal asociate cu sistemele atomice și subatomice, legile fizicii cuantice ar trebui să se aplice la orice, incluzînd corpurile macroscopice. Efectele cuantice sînt în obiectele mari foarte slabe, dar de-a lungul a mari perioade de timp ele ar putea aduce schimbări majore.

Trăsăturile marcante ale fizicii cuantice sînt incertitudinea și probabilitatea. În domeniul cuantic nimic nu este cert, cu excepția pariurilor de probabilitate. Aceasta înseamnă că dacă un proces este totuși posibil, avînd destul timp la dispoziție, el se va produce în final, oricît de improbabil ar fi. Putem observa cum lucrează această regulă în cazul radioactivității. Un nucleu de uraniu 238 este aproape complet stabil. Există totuși o minimă șansă ca el să elimine o par-

ticulă alfa pentru a se transforma în toriu. Mai exact, există o foarte mică probabilitate pe unitatea de timp pentru ca un anumit nucleu de uraniu să se dezintegreze. În medie este nevoie de aproximativ patru miliarde și jumătate de ani pentru ca acest lucru să se producă, dar întrucât legile fizice cer o probabilitate fixă pe unitatea de timp, *orice* nucleu de uraniu se va dezintegra în cele din urmă.

Dezintegrarea radioactivă alfa are loc deoarece există o mică incertitudine în așezarea protonilor și neutronilor care formează atomul de uraniu. În mod asemănător, există o și mai mică incertitudine în poziția precisă a unui atom într-un solid (dar nu chiar zero). De exemplu, un atom de carbon într-un diamant va sta într-un loc foarte bine definit din cristal, iar la temperaturile apropiate de zero așteptate în viitorul universului, acest lăcaș va fi foarte stabil. Dar nu complet stabil. Există întotdeauna o *mică* incertitudine în poziția atomului, ceea ce implică o mică probabilitate ca atomul să poată sări în mod spontan de la locul său din rețeaua cristalină și să apară în altă parte. Din cauza unor astfel de procese de migrație nimic — nici chiar o substanță atât de tare ca diamantul — nu este cu adevărat solid. În loc de aceasta, materia aparent solidă este ca un lichid foarte vâscos și de-a lungul unor imense perioade de timp poate să curgă datorită efectelor mecanicii cuantice. Fizicianul Freeman Dyson a estimat că după aproximativ 10^{65} ani nu numai că fiecare diamant tăiat cu grijă va fi redus la o mărgea sferică, dar fiecare bolovan de rocă va deveni în mod asemănător o minge netedă.

Incetitudinea de poziții va putea conduce chiar și la transformări nucleare. De exemplu, să luăm în considerare doi atomi vecini ai carbonului în cristalul de diamant. Foarte rar, reșezarea spontană a unui astfel de

atom va determina nucleul să apară momentan chiar în apropierea nucleului vecinului său. Forța de atracție nucleară ar putea face ca cele două nuclee să fuzioneze pentru a forma un nucleu de magneziu. Astfel, fuziunea nucleară nu cere temperaturi foarte înalte; fuziunea la rece este posibilă, dar cere extrem de mult timp. Dyson a estimat că după 10^{1500} ani (acesta înseamnă 1 urmat de 1 500 de zerouri!) toată materia se va transforma astfel în cea mai stabilă formă nucleară, care este elementul fier.

Totuși ar fi posibil ca materia nucleară să nu supraviețuiască atît de mult, datorită unor procese de transmutație mai rapide, dar încă incredibil de încete. Estimările lui Dyson presupun că protonii (și neutronii legați în nuclee) sînt *absolut* stabili. Cu alte cuvinte, dacă un proton nu cade într-o gaură neagră și este lăsat netulburat, el va dura veșnic. Dar putem fi siguri că așa este? Cînd eram student, nimeni nu se îndoia de aceasta. Protonii existau pentru totdeauna. Ei erau presupuși a fi particule *complet* stabile. Dar mereu au existat o îndoială, o dispută cu privire la aceasta. Problema privește existența unei particule numite pozitron, care este identică cu electronul exceptînd faptul că posedă o sarcină ca și protonul. Pozitronii sînt mult mai ușori decît protonii, deci orice altceva fiind egal cu protonii ar prefera să se transforme în pozitroni. (Există un principiu important al fizicii ce arată că sistemele fizice își caută starea de minimă energie, iar masă scăzută înseamnă energie scăzută.) Acum nimeni nu ar putea spune de ce protonii nu continuă pur și simplu să facă acest lucru, astfel încît fizicienii cred că este vorba de o lege a naturii care le interzice aceasta. Pînă nu demult, subiectul nu a fost deloc bine înțeles, dar la sfîrșitul anilor '70 a apărut o imagine mai clară despre felul în care aceste forțe

nucleare împing particulele să se transforme una în alta conform mecanicii cuantice. Ultimele teorii acordă importanța cuvenită legii ce interzice descompunerea protonului, dar multe teorii spun că această lege nu este efectivă sută la sută. S-ar putea să existe o *foarte* mică probabilitate ca un proton dat să se transforme într-adevăr într-un pozitron. Masa rămasă se presupune că va reapărea în parte sub forma unei particule neutre din punct de vedere electric — cum ar fi așa-numitul pion — și în parte sub forma energiei de mișcare (produsele de descompunere ar fi create mișcându-se la viteză mare).

Într-unul din cele mai simple modele teoretice, timpul mediu necesar unui proton pentru a se descompune este de 10^{28} ani, care reprezintă de un miliard de miliarde de ori vârsta actuală a universului. De aceea trebuie să ne imaginăm că subiectul descompunerii protonului ar rămîne o pură curiozitate științifică. Totuși trebuie amintit că acest proces aparține mecanicii cuantice și de aceea este inerent în natură din punct de vedere probabilistic: 10^{28} ani este perioada *medie* prezisă de viață a unui proton, iar nu cea *reală*. Dintr-un număr suficient de protoni, există o șansă suficientă ca unul să se dezintegreze chiar sub ochii noștri. În fapt, la 10^{28} protoni, ne putem aștepta la aproximativ o dezintegrare pe an, iar 10^{28} protoni se găsesc în doar zece kilograme de materie.

Așa cum se întîmplă, o viață de proton de o asemenea durată fusese deja înlăturată prin experiment înainte ca teoria să devină populară. Totuși diferitele versiuni ale teoriei dădeau perioade mai lungi: 10^{30} sau 10^{32} ani sau chiar mai mult (unele teorii prezic chiar 10^{80} ani). Cele mai mici valori sînt la marginea posibilității de testare experimentală. Un timp de dezintegrare de 10^{32} ani ar însemna, de exemplu, că am putea

pierde în cursul întregii vieți unul sau doi protoni din corpul nostru. Dar cum să detectăm asemenea evenimente rare?

Tehnica adoptată a fost de a aduna mii de tone de materie și de a supraveghea timp de mai multe luni cu detectoare sensibile, reglate pentru a fi declanșate de produsele de dezintegrare a unui proton. Din păcate, cercetarea procesului de dezintegrare a protonului este de tipul acului în carul cu fîn pentru că astfel de dezintegrări sînt mascate de un număr mult mai mare de evenimente similare cauzate de producerea radiației cosmice. Pămîntul este permanent bombardat din spațiu de particule de înaltă energie, ceea ce produce un fundal omniprezent de dezintegrări subatomice. Pentru a reduce această interferență, trebuie ca experimentările să aibă loc adînc sub Pămînt.

Un astfel de experiment a avut loc la mai mult de o jumătate de milă adîncime sub Pămînt, într-o mină de sare de lîngă Cleveland, Ohio. Aparatul consta din 10 000 tone de apă ultrapură, aflată într-o cisternă cubică întonjurată de detectoare. Apa a fost aleasă datorită transparenței sale, permițînd detectorului „să vadă” deodată oricît de mulți protoni ar fi posibil. Ideea a fost următoarea. Dacă un proton se dezintegrează în maniera prezisă de aceste teorii la modă, o dată cu producerea pozitronului are loc apariția unei particule numite pion neutru din punct de vedere electric. Pionul, la rîndul său, se dezintegrează rapid, de obicei în doi fotoni de energie foarte înaltă sau radiații gama. În final, aceste raze gama întîlnesc nuclee în apă și creează o pereche electron și pozitron, de asemenea cu energie foarte înaltă. De fapt, acești electroni și pozitroni secundari ar fi atît de plini de energie încît ar călători cu viteze apropiate de viteza luminii, chiar în apă.

Lumina călătorește cu 300 000 kilometri pe secundă în vid și aceasta este viteza limită cu care poate călători orice particulă. Efectul apei este de a încetini oarecum viteza luminii, reducînd-o la aproximativ 230 000 kilometri pe secundă. De aceea o particulă subatomică de viteză mare, care se mișcă prin apă cu aproape 300 000 kilometri pe secundă, de fapt călătorește mai repede decît o face lumina *prin apă*. Cînd o navă spațială călătorește mai repede decît sunetul, ea creează o explozie sonoră. În mod similar, o particulă încărcată ce călătorește printr-un mediu mai repede decît lumina creează o anume undă electromagnetică de șoc, cunoscută ca radiație Cerenkov, după numele descoperitorului ei rus. Astfel, experimentatorii din Ohio au pus la punct o grupare de detectoare sensibile la lumină pentru a căuta scînteierile Cerenkov. Pentru a deosebi procesele de dezintegrare a protonului de neutrinii razelor cosmice și de alte false rămășițe subatomice, cercetătorii au căutat în special perechi spate-în-spate de impulsuri luminoase tip Cerenkov — o semnătură distinctivă — și care ar fi emise de perechile cu mișcări opuse, electron-pozitron.

Din păcate, după mai mulți ani de lucru, experimentul tot n-a reușit să găsească vreo dovadă convingătoare despre dezintegrarea protonului, deși, așa cum am arătat în capitolul 4, a obținut neutrino-ul din Supernova 1987 A. (Ca adesea în știință, a căuta ceva conduce la a descoperi altceva.) Alte experimente, folosind alte planuri, nu au condus nici ele pînă în momentul de față la vreun rezultat. Aceasta poate însemna că protonii nu se dezintegrează. Pe de altă parte, ar putea însemna că ei totuși se dezintegrează, dar viața lor este mai lungă decît 10^{32} ani. A măsura o viteză de dezintegrare mai înceată decît aceasta este dincolo de posibilitățile experimentale curente, astfel încît pro-

tabil problema dezintegrării protonului va rămîne de soluționat în viitorul previzibil.

Cercetarea privind dezintegrarea protonului a fost stimulată de munca teoretică asupra marilor teorii unificate, ce-și propuneau drept scop unificarea forței nucleare puternice (forța care ține protonii și neutronii împreună în nuclee) cu forța nucleară slabă responsabilă pentru radioactivitatea beta și cu forța electromagnetică. Dezintegrarea protonului s-ar produce datorită interferenței scurte a acestor forțe. Dar chiar dacă această idee a marii unificări se dovedește a fi greșită, rămîne posibilitatea ca protonii să se dezintegreze pe altă cale care ar implica a patra forță fundamentală a naturii — gravitația.

Pentru a vedea modul în care gravitația poate cauza dezintegrarea protonului, este necesar să luăm în considerare faptul că protonul nu este chiar o particulă elementară punctiformă. El este de fapt un corp compus din trei particule mai mici, numite particule quark. În cea mai mare parte a timpului, protonul are un diametru de aproximativ a zecea bilioana parte dintr-un centimetru, aceasta fiind distanța medie dintre particulele quark. Totuși particulele quark nu sînt în repaus, ci ele își schimbă permanent pozițiile în interiorul protonului, din cauza principiului incertitudinii din mecanica cuantică. Din cînd în cînd, două particule quark se vor apropia foarte mult una de alta. Încă și mai rar, toate cele trei particule quark se vor găsi foarte aproape una de alta. Este posibil ca ele să ajungă *atît* de apropiate, încît forța gravitațională dintre ele, de obicei neglijabilă, să le depășească pe toate celelalte. Dacă acest lucru se întîmplă, particulele quark se vor contopi pentru a forma o gaură minusculă. Ca urmare, protonul colapsează sub propria sa gravitație într-o

tunelare conform mecanicii cuantice. Minigaura rezultată este foarte instabilă datorită procesului Hawking și dispare mai mult sau mai puțin instantaneu, creînd pozitronul. Estimările timpului necesar protonului pentru a se dezintegra pe această cale sînt foarte incerte, variînd de la 10^{45} ani pînă la uimitoarea cifră de 10^{220} ani.

Dacă protonii se dezintegrează după o perioadă imensă, consecințele asupra viitorului îndepărtat al universului sînt profunde. Toată materia ar fi instabilă și în final ar dispărea. Obiectele solide, ca de exemplu planetele ce au evitat să cadă într-o gaură neagră, nu ar trăi veșnic. Ele ar dispărea treptat. Timpul de viață a unui proton, să spunem de 10^{32} ani, ar implica faptul că Pămîntul pierde un bilion de protoni pe secundă. În acest ritm, după vreo 10^{33} ani, planeta noastră ar dispărea efectiv, presupunînd că altceva nu ar fi distrus-o deja.

Nici stelele neutronice nu sînt imune față de acest proces. Neutronii sînt și ei alcătuiți din trei particule quark și se pot transforma în particule mai ușoare, prin mecanisme similare cu cele ce atrag după sine moartea protonilor. (Neutronii izolați sînt în orice caz instabili și se descompun în aproximativ 15 minute.) Stelele pitice albe, mici nori de gaz, rocile, praful, cometele și toate celelalte obiecte astronomice vor sucumba și ele în timp. În acest fel, cele 10^{48} tone de materie obișnuită pe care le observăm, ca fiind împrăștiate prin univers sînt toate destinate să dispară, fie în găuri negre, fie printr-un proces lent de dezintegrare nucleară.

Cu siguranță, atunci cînd protonii și neutronii se dezintegrează, ei creează produse de dezintegrare, astfel încît universul nu este lăsat în întregime fără materie de orice fel. De exemplu, așa cum am menționat deja, un proton se dezintegrează într-un pozitron, plus un pion

neutru. Pionul este foarte instabil și repede se dezintegrează în doi fotoni sau poate într-o pereche electron-positron. Oricum ar fi, universul va achiziționa treptat din ce în ce mai mulți pozitroni, ca rezultat al dezintegrării protonului. Fizicienii cred că numărul total al particulelor încărcate pozitiv (în special protoni) aflate în univers este același cu cel al particulelor încărcate negativ (în special electroni). Aceasta implică faptul că, odată toți protonii dezintegrați, va exista o mixtură egală de electroni și pozitroni. Dar pozitronul este așa-numita antiparticulă a electronului și dacă un pozitron întâlnește un electron, ei se anulează reciproc — un proces care poate fi ușor studiat în laborator —, eliberând energie sub formă de fotoni.

Au fost făcute calcule ce încearcă să determine dacă protonii și electronii ce vor fi rămas în viitorul îndepărtat al universului se vor anihila complet unii pe alții sau vor rămâne mereu ușoare urme din ei. Anihilarea nu se petrece în mod brusc. Astfel, un pozitron și un electron mai întâi se așază într-un fel de miniatom, numit pozitronium, cu ambele particule orbitând în jurul centrului lor comun de masă, într-un dans al morții, legați prin atracția lor electrică mutuală. Apoi particulele spiralează împreună și se anihilează. Timpul necesar mișcării în spirală depinde de distanța inițială între electron și pozitron atunci când se formează pozitronul. În laborator dezintegrarea pozitronium-ului are loc într-o mică fracțiunea de secundă, dar în spațiul exterior, cu puține elemente perturbatoare, electronii și pozitronii pot să fie legați împreună și să parcurgă astfel orbite imense. Estimările sugerează că ar fi necesari 10^{71} ani pentru ca majoritatea electronilor și pozitronilor să formeze pozitronium-ul, dar în cele mai multe cazuri orbitele lor ar avea diametre de multe

bilioane de ani lumină! Particulele s-ar mișca atât de încet, încât ar trebui un milion de ani pentru o deplasare de un centimetru. Atât de leneși ar fi electronii și pozitronii încât mișcarea în spirală ar avea uimitoarea durată de 10^{116} ani. Totuși soarta finală a acestor atomi numiți pozitronium este pecetluită chiar din momentul apariției lor.

În mod ciudat, nu toți electronii și pozitronii trebuie să se anihileze. În timp ce acești electroni și pozitroni își caută opușii, densitatea acestor particule scade neîncetat, atât ca rezultat al anihilării cât și datorită expansiunii continue a universului. Pe măsură ce timpul trece, formarea pozitronium-ului devine din ce în ce mai grea. Astfel, deși micile reziduuri de materie devin din ce în ce mai puține, ele nu dispar niciodată complet. Va exista totdeauna undeva un electron sau un pozitron desperecheat, deși fiecare astfel de particulă va fi din ce în ce mai solitară în cadrul volumului în creștere al spațiului gol.

Acum putem să ne imaginăm cum va fi universul după ce toate aceste procese incredibil de lente se vor fi desfășurat. Mai întâi, va fi materialul rămas după explozia inițială, fundalul cosmic care a existat dintotdeauna. Acesta constă din fotoni, neutrini și poate și alte particule complet stabile pe care nu le cunoaștem încă. Energia acestor particule va scădea pe măsura expansiunii universului, pînă cînd vor forma un fundal total neglijabil. Materia obișnuită a universului va fi dispărută deja. Toate găurile negre vor fi dispărute și ele. Cea mai mare parte a masei găurilor negre se va fi transformat în fotoni, deși unele vor fi și sub formă de neutrini și o mică parte, emisă în timpul exploziei finale a găurilor, va fi sub formă de electroni, protoni, neutroni și particule mai grele. Particulele mai grele se descompun rapid, iar neutronii și protonii mai încet,

lăsînd cîțiva electroni și pozitroni pentru a-i întîlni pe alții care reprezintă ultimele rămășițe ale materiei obișnuite pe care o vedem astăzi.

Universul din viitorul foarte îndepărtat ar fi nemai-pomenit de diluat, un amestec de fotoni, neutrini și un număr de electroni și pozitroni în scădere, toți mișcîndu-se încet și depărtîndu-se tot mai mult. Din cele ce cunoaștem, nu vor mai avea loc niciodată procese fizice de bază, nici un eveniment semnificativ nu se va mai desfășura pentru a întrerupe sterilitatea mohorîtă a unui univers ce și-a încheiat ciclul, dar încă înfruntă viața eternă — sau poate moartea eternă ar fi mai corect spus.

Această imagine tristă a nimicului întunecat, rece și inform la care ajunge cosmologia modernă este cea mai apropiată de „moartea termică” dată de fizica secolului al XIX-lea. Timpul necesar universului pentru a degenera pînă la acest stadiu este atît de lung, încît depășește imaginația omenească. Și totuși aceasta nu este decît o porțiune infinitesimală din timpul infinit disponibil. Dar, așa cum am remarcat, pentru totdeauna înseamnă un timp îndelungat...

Deși descompunerea universului are o durată atît de vastă în comparație cu scala de timp omenească, încît este efectiv lipsită de sens pentru noi, oamenii tot sînt nerăbdători să afle: „Ce se va întîmpla cu urmașii noștri? Sînt ei inevitabil condamnați de un univers care încet, dar inexorabil, se va închide în jurul lor?” Datorită acestei stări de lucruri rău promițătoare pe care știința o prevestește pentru viitorul îndepărtat al universului, se pare că orice formă de viață este în final condamnată. Dar moartea nu este atît de simplă.

Viața în ritm lent

În 1972 o organizație numită Clubul de la Roma a publicat o prognoză sumbră cu privire la viitorul omenirii numită *The Limits to Growth* (*Limitele creșterii*). Printre numeroasele preziceri ale dezastrului iminent era și aceea că lumea își va epuiza în câteva decenii rezervele de combustibil fosil. Oamenii s-au alarmat, prețurile la benzină au urcat rapid și căutarea altor alternative de energie a ajuns la modă. Iată-ne ajunși după 1990, și nu există încă nici un semn al combustibilului fosil pe cale de epuizare. Ca rezultat, alarma a fost înlocuită cu autoliniștirea. Din păcate, o aritmetică simplă ne dictează faptul că o resursă finită nu poate continua la nesfârșit să se golească cu o viteză finită constantă. Mai devreme sau mai târziu energia consumată ne va depăși. O concluzie similară se poate trage și pentru populația Pământului: nu poate continua să crească la nesfârșit.

Unii ieremiști cred că în viitor criza energiei și fenomenul suprapopulării vor distruge umanitatea o dată pentru totdeauna. Totuși nu este necesar să facem o paralelă între dispariția combustibilului și dispariția lui *homo sapiens*. Există uriașe surse de energie în jurul nostru, numai să avem dorința și ingeniozitatea de a le

utiliza. Este de remarcă faptul că soarele posedă energie mai mult decît suficientă pentru scopurile noastre. O problemă mai grea este stăvilirea creșterii populației înainte ca înfometarea masivă s-o facă pentru noi. Acest lucru cere abilități sociale, economice și politice, mai mult decît științifice. Totuși *dacă* vom putea învinge pierderea de energie determinată de golirea rezervelor de combustibil fosil și *dacă* vom putea stabiliza populația umană fără un conflict dezastruos și *dacă* distrugerea ecologică a planetei sau cea produsă de lovirea de un asteroid, pot fi limitate, atunci cred că umanitatea va prospera. Nu există nici o lege evidentă a naturii care să limiteze longevitatea speciilor noastre.

În capitolele precedente, am descris cum de-a lungul unor intervale încomensurabile de timp, structura universului se va schimba, în general în direcția degenerării lui, ca rezultat al unor procese fizice încete. Ființele omenesti există pe aici de cel mult cinci milioane de ani (depinde de definiția pe care o dăm omenescului), iar civilizația (într-un anume sens) abia de cîteva mii de ani. Pămîntul ar trebui să rămînă locuibil pentru încă două sau trei miliarde de ani de aici înainte — dar cu siguranță cu o populație limitată. Este o perioadă de timp atît de îndelungată, încît depășește imaginația. Pare atît de lungă încît se confundă cu infinitul. Totuși noi am văzut deja cum chiar un miliard de ani este o foarte scurtă clipă comparată cu vasta scară a timpului necesar pentru schimbări cosmologice și astronomice importante. Un habitat ca Pămîntul poate să mai existe undeva în galaxia noastră peste un *miliard* de miliarde de ani.

Ni-i putem fără îndoială imagina pe descendenții noștri, în atît de mult timp avut la dispoziție, dezvoltînd explorarea spațiului și tot felul de tehnologii

minunate. Ei vor avea destul timp să părăsească Pământul înainte ca soarele să-l ardă. Ei pot căuta o altă planetă convenabilă, și apoi o alta, și așa mai departe. Extinzându-se în spațiu, populația poate și ea să crească. Oare ne poate reconforta să știm că lupta noastră pentru supraviețuire în secolul al douăzecilea ar putea în cele din urmă să nu fie în zadar?

În capitolul 2 am descris modul în care Bertrand Russell, într-un moment de depresiune datorată consecințelor celei de-a II-a legi a termodinamicii, a scris în termeni îngrijorători despre inutilitatea existenței umane, dat fiind faptul că sistemul solar este condamnat. Russell a simțit cu siguranță că aparent inevitabila distrugere a habitatului nostru face ca viața omenească să fie lipsită de sens, sau chiar ca o farsă. Această credință a contribuit în mod sigur la ateismul său. S-ar fi simțit oare Russell mai bine dacă ar fi știut că energia gravitațională a găurilor negre ar putea depăși performanța soarelui de multe ori și să dureze bilioane de ani după dezintegrarea sistemului solar? Probabil că nu. De fapt, nu durata de timp contează, ci ideea că, mai devreme sau mai târziu, universul va deveni de nelocuit: această idee îi face pe unii oameni să considere existența noastră drept lipsită de sens.

Din descrierea făcută la sfârșitul capitolului 7 a viitorului îndepărtat al universului s-ar putea presupune că abia ne-am putea imagina un mediu mai puțin echilibrat și mai ostil. Totuși nu trebuie să fim șovini sau pesimiști. Ființele umane vor traversa, fără îndoială, o perioadă grea, fiind nevoite să trăiască într-un univers constând dintr-un amalgam („ciorbă”) diluat de electroni și pozitroni, dar chestiunea importantă este în mod sigur nu dacă specia noastră ca atare este nemuritoare, ci dacă *descendenții* pot să supraviețuiască. Și este improbabil ca descendenții noștri să fie ființe umane.

Speciile *homo sapiens* au apărut pe Pământ ca produs al evoluției biologice. Dar procesele de evoluție au fost rapid modificate de propriile noastre activități. Deja ne-am interferat cu procesul de selecție naturală. Devin din ce în ce mai posibile mutațiile induse genetic. În curînd vom putea fi capabili de a proiecta ființe umane cu trăsături și caracteristici fizice stabilite prin manipularea genetică directă. Aceste înlesniri biotehnologice s-au produs în numai cîteva decenii de societate tehnologică. Imaginați-vă ce s-ar putea înfăptui în mii sau chiar milioane de ani de știință și tehnologie.

În numai cîteva decenii, omenirea a fost capabilă să părăsească planeta, aventurîndu-se în spațiul apropiat. De-a lungul epocilor, descendenții noștri s-ar putea împrăști dincolo de Pământ, în largul sistemului solar, și apoi către alte sisteme stelare din galaxie. Oamenii adesea au concepția greșită că ar fi nevoie de o eternitate pentru ca așa ceva să se întreprindă. Totuși nu este așa. Colonizarea ar începe probabil cu zborul spre alte planete: coloniștii ar părăsi Pământul pentru o planetă convenabilă aflată la o distanță de cîtiva ani lumină și dacă ei ar putea călători cu o viteză apropiată de cea a luminii, atunci călătoria ar dura doar cîtiva ani. Chiar dacă descendenții noștri nu vor reuși niciodată să atingă viteze mai mari de un procent din viteza luminii — o țintă destul de modestă — atunci timpul de călătorie va fi de doar cîteva secole. Colonizarea reală a unei planete s-ar produce la rîndul ei în cîteva secole, timp în care descendenții coloniștilor inițiali s-ar putea gîndi să-și mute expediția pe o altă planetă convenabilă, aflată mai departe încă. După alte cîteva sute de ani și această următoare planetă va fi colonizată și așa mai departe. Aceasta a fost maniera în care polinezienii au colonizat insulele din centrul Pacificului.

Lumina are nevoie de numai aproximativ o sută de mii de ani pentru a traversa galaxia, astfel încît la un

procent din această viteză, timpul total al călătoriei este de 10 milioane de ani. Dacă o sută de mii de planete sînt colonizate de-a lungul acestui drum și fiecare colonie necesită două secole pentru a se stabili, acest lucru are doar efectul triplării timpului de colonizare a galaxiei. Dar 30 milioane de ani reprezintă un timp foarte scurt în raport cu standardele astronomice sau chiar geologice. Soarele are nevoie de aproximativ 200 milioane de ani pentru a-și parcurge orbita galactică doar o dată, în vreme ce viața pe Pămînt a existat de un timp de cel puțin de șaptesprezece ori mai lung decît atît. Îmbătrînirea soarelui va deveni o amenințare pentru Pămînt abia peste trei sau patru miliarde de ani — în 30 milioane de ani vor fi avut loc foarte puține schimbări. Concluzia este că descendenții noștri ar putea coloniza galaxia într-o mică fracțiune din timpul ce a fost necesar vieții să evolueze pe Pămînt pînă la societatea tehnologică.

Cum vor fi oare acești descendenți coloniști ai noștri? Dacă dăm frîu liber imaginației, putem presupune că aceștia ar putea fi proiectați din punct de vedere genetic pentru a se adapta ușor la planeta vizată. Pentru a lua un exemplu simplu, dacă o planetă asemănătoare cu Pămîntul este descoperită în vecinătatea stelei Epsilon Eridani, dar avînd doar zece procente de oxigen în atmosferă, atunci coloniștii ar putea fi proiectați astfel încît să aibă mai multe globule roșii în sînge. Dacă gravitația la suprafața noii planete este mai mare, atunci ei ar putea fi înzestrați cu o structură mai robustă și oase mai puternice. Și așa mai departe.

Călătoria nu trebuie să prezinte probleme, nici dacă sînt necesare cîteva secole pentru a fi înfăptuită. Nava spațială ar putea fi construită ca o arcă — un ecosistem complet, capabil să suporte călătoriile mai multor generații. Sau coloniștii ar putea fi congelați pe par-

cursul călătoriei. Într-adevăr, ar fi mai rezonabil să trimitem doar o mică navă cu puțin echipaj, pe a cărei încărcătură să se găsească și milioane de ovule fertilizate și congelate. Acestea ar putea fi incubate la sosire, dînd naștere unei populații instantanee fără probleme sociologice și logistice ale transportului unui mare număr de ființe adulte de-a lungul unei îndelungate perioade de timp.

Din nou, speculînd ceea ce ar fi eventual posibil datorită imensei durate de timp, concluzionăm că nu există nici un motiv pentru care acești coloniști să fie umani în aspect sau chiar în mentalitate. Dacă ființele pot fi proiectate pentru a face față unor nevoi variate, atunci fiecare expediție ar avea entitățile sale proprii, corespunzătoare scopului ei, cu anatomia și psihologia necesare sarcinii ce o au de îndeplinit.

Coloniștii nu trebuie nici măcar să fie organisme ce trăiesc normal în sensul uzual al definiției. Este deja posibil să implantăm bucățele de microprocesoare de siliciu în organismul uman. Prin dezvoltarea ulterioară a acestei tehnologii am putea asista la o mixtură de părți organice și electronice artificiale, folosind atît la funcțiile psihologice, cît și la cele ale creierului. De exemplu, ar fi posibil să proiectăm largi memorii externe pentru creierul uman, similare cu cele de la calculatoare. Invers, se poate dovedi curînd a fi mai eficient să se adapteze materialul organic la performanțele calculatorului, decît să se producă dispozitive și să se inventeze procedee dificile în acest scop. Într-adevăr, va fi posibil să „creștem” biologic componente ale calculatorului. Mai curînd, numeroase sarcini ale computerelor digitale vor fi înlocuite, pentru diferite sarcini, de rețele neurale; chiar în prezent rețelele neurale sînt folosite în locul computerelor digitale pentru a simula inteligența umană și a prezice comportamentul

economic și în acest caz ar fi mai bine să se cultive rețele neurale organice din biți de țesut din creier, decât ca ei să fie fabricați *ab initio*. Poate deveni plauzibil să se construiască un amestec simbiotic de rețele artificiale și organice. O dată cu dezvoltarea minitehnologiei, distincția dintre viu și neviu, natural și artificial, creier și computer va deveni din ce în ce mai neclară.

În prezent, asemenea speculații aparțin domeniului științifico-fantastic. Pot ele oare să devină știință reală? La urma urmei, faptul că ne putem imagina ceva nu înseamnă neapărat că acest lucru trebuie să și aibă loc. Totuși putem aplica același principiu proceselor tehnologice ca și celor naturale: avînd o durată suficientă de timp, orice lucru care *poate* să se întîmple se va întîmpla. Dacă oamenii sau descendenții lor rămîn suficient de motivați (acesta poate fi un mare dacă), atunci tehnologia va fi limitată numai de legile fizicii. O provocare ca proiectul genetic uman, care poate fi o sarcină descurajantă pentru o unică generație de savanți, ar fi destul de corectă dacă o sută, o mie sau chiar un milion de generații vor lucra la proiect.

Să analizăm poziția optimistă ce spune că noi vom supraviețui și vom continua să dezvoltăm tehnologia noastră către limitele sale. Ce urmări are acest lucru asupra explorării universului? Construcția unor ființe sensibile proiectate în funcție de scop va deschide posibilitatea trimiterii de agenți în habitatele total ostile pînă acum, pentru a desfășura sarcini de neimaginat în mod curent. Deși aceste ființe ar putea fi produsele finale ale tehnologiei inițiate de om, ele însele nu ar fi ființe umane.

Oare ar trebui să avem o grijă particulară pentru destinul acestor creaturi fantomatice? Mulți oameni pot simți un fel de repulsie la gîndul că umanitatea ar putea fi înlocuită prin asemenea monștri. Dacă supraviețuirea

cere ființe umane pentru a fabrica roboți organici proiectați genetic, am opta poate pentru stingere. Chiar dacă probabilitatea dispariției umanității ne deprimă, trebuie să ne punem întrebarea precisă ce dorim să păstrăm din ceea ce au ființele omenești. În mod sigur nu este vorba despre forma noastră fizică. Ne-ar deranja oare în mod real să știm că, de exemplu, peste un milion de ani, descendenții noștri își vor fi pierdut degetele de la picioare? Sau ar avea picioare mai scurte, sau capete și creiere mai mari? În cele din urmă, forma noastră fizică s-a schimbat oricum destul de mult în ultimele cîteva secole și sînt în mod curent mari deosebiri între diferitele grupuri etnice.

Cînd sîntem siliți, cred că majoritatea dintre noi ar pune mai mult preț pe ceea ce putem numi spiritul uman — cultura noastră, sistemul nostru de valori, capacitatea noastră de gîndire, așa cum sînt ele exemplificate prin creațiile noastre intelectuale, științifice și artistice. Aceste lucruri merită într-adevăr să fie păstrate și perpetuate. Dacă am putea să trecem mai departe descendenților noștri această esențială *umanitate*, oricare ar fi forma lor fizică, atunci va avea loc supraviețuirea a ceea ce contează cu adevărat.

Dacă este posibil să se creeze ființe asemănătoare omului și care să meragă înainte și să se împrăstie prin cosmos este desigur o chestiune ipotetică. Mai important decît orice altceva poate fi faptul că omenirea își va pierde motivația pentru a întreprinde ceva atît de mareț sau că dezastre economice, ecologice sau de altă natură ne vor aduce moartea, înainte de a părăsi planeta definitiv. S-ar putea întîmpla chiar ca ființe extraterestre să se afle cu un pas înaintea noastră și să fi colonizat deja majoritatea planetelor convenabile (deși în mod evident nu Pămîntul — încă). Dar, fie că sarcina aceasta cade în seama descendenților noștri sau a altor specii

străine, posibilitatea de a se răspîndi prin univers, preluînd încet, încet controlul asupra sa prin tehnologie, este fascinantă și sîntem tentați să întrebăm cum va combate o astfel de rasă superioară înceata degenerare a universului.

Durata în timp a decăderii fizice discutată în capitolul 7 este atît de mare încît orice încercare de a ghici cum va fi tehnologia în viitorul foarte îndepărtat, pornind de la prezent și extrapolîndu-l, este lipsită de sens. Cine își poate imagina o societate tehnologică veche de un bilion de ani? Ar părea ca ar putea produce orice. Oricum, orice tehnologie, oricît de avansată, s-ar supune probabil încă legilor fundamentale ale fizicii. Dacă, de exemplu, teoria relativității este corectă în concluziile sale că nici un corp material nu poate depăși viteza luminii, atunci chiar o dezvoltare tehnologică de un bilion de ani tot nu ar putea depăși această barieră. Mai cu seamă, dacă orice activitate interesantă implică folosirea cel puțin a unei oarecare energii, atunci continua scădere a surselor de energie disponibile existente în univers va reprezenta pînă la urmă o amenințare serioasă pentru o comunitate tehnologică, oricît de avansată ar fi ea.

Aplicînd principiile de bază ale fizicii la definirea în linii mari a ființelor sensibile, putem investiga dacă degenerarea universului în viitorul îndepărtat prezintă vreun obstacol fundamental pentru supraviețuirea lor. Ca o ființă să fie îndreptățită la calificativul de „sensibilă” trebuie cel puțin să fie capabilă să prelucreze informații. A gîndi și a experimenta sînt amîndouă exemple de activitate ce implică prelucrarea informației. Deci ce poate pretinde aceasta de la starea fizică a universului?

O trăsătură caracteristică a procesării informației este că prin ea se cheltuiește energie. Acesta este motivul pentru care obiectul desemnat prin cuvîntul procesor

la care culeg eu acum textul acestei cărți trebuie să fie conectat la surse electrice. Cantitatea de energie pierdută pentru un bit de informație depinde de considerente termodinamice. Pierdere este cea mai mică atunci când procesorul operează la o temperatură apropiată de cea a mediului înconjurător. Creierul uman, ca și majoritatea computerelor, lucrează foarte ineficient și pierde mari cantități de energie sub formă de căldură. De exemplu, creierul omenesc produce o fracțiune importantă din căldura corpului, în timp ce majoritatea calculatoarelor are nevoie de un sistem special de răcire pentru a le împiedica să se topească. Originea acestei pierderi de căldură poate fi găsită în chiar logica de operare a procesării informației care necesită descărcarea informației. De exemplu, dacă un computer rezolvă calculul $1 + 2 = 3$, atunci doi biți de informație de intrare (1 și 2) sînt înlocuiți cu un singur bit de informație de ieșire (3). O dată ce calculul a fost făcut, computerul poate renunța la informația de intrare, înlocuind astfel doi biți cu unul. Într-adevăr, pentru a preveni blocarea grupurilor de memorie, mașina trebuie să renunțe mereu la informațiile de prisos. Procesul de ștergere este prin definiție ireversibil și de aceea implică o creștere a entropiei. Bazîndu-ne pe raționamente solide, se pare că adunarea și prelucrarea informației vor produce inevitabil și ireversibil o secătuire de energie și o creștere a entropiei universului.

Freeman Dyson a studiat problemele întîmpinate de o comunitate de ființe sensibile care sînt limitate de nevoia de disipare a energiei la o anumită viteză, chiar dacă numai pentru a gîndi — în timp ce universul se răcește, mergînd către moartea termică. Prima constrîngere este că ființele trebuie să aibă o temperatură mai mare decît cea a mediului lor înconjurător, altfel căldura nu va ieși din ele. În al doilea rînd, legile fizicii

limitează viteza la care un sistem fizic poate să radieze energie în împrejurimi. Este evident că ființele nu vor putea activa mult timp dacă produc pierdere de căldură mai repede decît scăpa de ea. Aceste cerințe creează o limită inferioară a ratei la care ființele pierd în mod inevitabil energia. O cerință esențială este că atunci trebuie să existe o sursă de energie liberă pentru a alimenta această pierdere vitală de căldură. Dyson concluzionează că toate aceste tipuri de surse sînt destinate să se micșoreze în viitorul îndepărtat al cosmosului, astfel încît toate ființele sensibile vor trebui în final să facă față unei crize energetice.

Există două căi de a prelungi longevitatea creaturilor sensibile. Una este de a supraviețui cît de mult posibil, cealaltă este de a grăbi viteza gîndirii și experimentării. Dyson face presupunerea rezonabilă că experiența subiectivă a ființelor asupra trecerii timpului depinde de viteza cu care ele prelucrează informația: cu cît mecanismul de prelucrare folosit este mai rapid, cu atît ființele au mai multe gînduri și percepții pe unitatea de timp și cu atît timpul pare să treacă mai repede. Această presupunere este folosită într-o manieră plăcută în romanul științifico-fantastic *Dragon's Egg (Oul dragonului)*, de Robert Foreword, care relatează povestea unei comunități de ființe conștiente care trăiesc la suprafața unei stele neutronice. Aceste ființe folosesc mai curînd procesele nucleare decît pe cele chimice pentru a-și susține existența. Întrucît interacțiunile nucleare sînt de mii de ori mai rapide decît cele chimice, ființele neutronice prelucrează informația mult mai rapid. O secundă pe scara timpului omenesc reprezintă echivalentul multor ani pentru ei. Comunitatea de pe steaua neutronică este într-o stare foarte primitivă atunci cînd oamenii iau contact cu ea pentru prima dată, dar se dezvoltă rapid și curînd ajunge să depășească umanitatea.

Din păcate, adoptarea acestei strategii ca mijloc de supraviețuire în viitorul îndepărtat are și o latură negativă: cu cât informația este prelucrată mai rapid, cu atât viteza de disipare a energiei va fi mai mare și cu atât mai rapid va fi procesul de golire a resurselor disponibile de energie. Am putea crede că acest lucru ar însemna inevitabila condamnare pentru descendenții noștri, oricare ar fi forma lor fizică. Dar nu este neapărat așa. Dyson a arătat că s-ar putea face un compromis înțelept în care comunitatea să-și încetinească în mod gradat ritmul de activitate pentru a rivaliza cu procesul de degradare a universului, de exemplu, intrînd în hibernare pentru perioade din ce în ce mai lungi. În timpul fiecărei perioade de somnolență i se va permite căldurii rezultate din efortul activităților din faza activă precedentă să se disipeze și să acumuleze energie folositoare care să fie utilizată în timpul următoarei faze active.

Timpu subiectiv resimțit de ființe ce adoptă această strategie va reprezenta o fracțiune din ce în ce mai mică din timpul real scurs, pentru că timpul de inactivitate al comunității crește mereu. Dar așa cum am tot remarcat, pentru totdeauna reprezintă un timp îndelungat și trebuie să ne luptăm cu limite ce se opun: resursele ce tind către zero și timpul ce tinde către infinit. Dyson a arătat dintr-o simplă examinare a acestor limite că timpul subiectiv total poate fi infinit chiar dacă resursele totale sînt finite. El citează o statistică uimitoare: o comunitate de ființe cu același nivel de populație ca omenirea de azi ar putea dăinui veșnic folosind o energie totală de 6×10^{30} J, acesta fiind debitul soarelui într-o perioadă de numai opt ore!

Adevărata imortalitate cere totuși mai mult decît capacitatea de a prelucra o cantitate infinită de informații. Dacă o ființă are un număr finit de stări ale

creierului, atunci ea poate gândi doar un număr finit de gânduri *diferite*. Dacă ar fi să dăinuie veșnic, aceasta ar însemna ca aceleași gânduri să se repete mereu. O astfel de existență pare la fel de lipsită de sens ca aceea a unei specii condamnate. Pentru a scăpa de acest sfârșit mortal, este necesar atât pentru comunitate, cât și pentru o anume superființă să continue să-și extindă creșterea nelimitat. Acest lucru produce o severă provocare în viitorul foarte îndepărtat, pentru că materia va dispărea mai repede decât poate fi rechiziționată ca materie cerebrală. Poate un individ ingenios și disperat va reuși să utilizeze pe insesizabilul dar omniprezentul neutrino pentru a extinde anvergura activității sale intelectuale.

Mare parte din discuția lui Dyson, și mai ales majoritatea speculațiilor despre soarta ființelor conștiente în viitorul îndepărtat, presupun în mod tacit că procesele mentale ale acestor ființe tind către un fel de proces de computerizare digital. Un calculator digital este în mod sigur o mașină în stadiu finit și de aceea se confruntă cu o limită strictă a ceea ce poate realiza. Există totuși și alte feluri de sisteme cunoscute sub denumirea de computere analogice. Un exemplu simplu este o regulă glisantă. Calculația poate fi făcută ajustînd în mod continuu regula și, într-un caz ideal, poate exista un număr infinit de stări. Astfel, computerele analogice depășesc unele din limitele celor digitale, care pot înmagazina și prelucra doar o cantitate finită de informații. Dacă informația este codificată în maniera unui computer analogic, să spunem prin pozițiile sau unghiurile obiectelor materiale, capacitatea calculatorului pare a fi nelimitată. Astfel, dacă o superființă poate acționa ca un computer analogic, poate nu numai să gîndească un număr infinit de gânduri, dar chiar un număr infinit de gânduri *diferite*.

Din păcate nu știm dacă universul ca întreg este ca un computer digital sau ca unul analogic. Fizica cuanti-

că sugerează că, în cele din urmă, chiar universul întreg ar putea fi „cuantificat” și el ar avea variații mai mult discrete decât continue în toate proprietățile sale. Dar aceasta este pură supoziție. Noi nici nu înțelegem relația dintre activitatea fizică și mentală a creierului. S-ar putea ca gândurile și experiențele să nu poată fi pur și simplu corectate cu ideile fizicii cuantice luate aici în considerare.

Oricare ar fi natura gândirii, nu există nici o îndoială că ființele viitorului îndepărtat vor înfrunta criza ecologică finală: disiparea tuturor surselor de energie cosmică. Totuși se pare că printr-un ritm lent de viață, ele ar putea atinge un fel de imortalitate. În scenariul lui Dyson, activitățile lor vor avea un impact din ce în ce mai mic asupra unui univers de o indiferență rece la cererile lor și ele vor rămîne inactive pentru perioade nelimitate, păstrîndu-și amintirile, dar neadăugîndu-le nimic, abia deranjînd întunecimea unui cosmos tăcut și muribund. Dar printr-o organizare înțeleaptă ele ar putea încă să aibă un număr infinit de gânduri și să facă un număr infinit de experiențe. Ce am putea spera mai mult?

Moartea termică a cosmosului a fost unul din miturile trainice ale epocii noastre. Am văzut cum Russell și alții și-au însușit ideea aparenței degenerării inevitabile a universului, așa cum o prezicea cea de-a II-a lege a termodinamicii, pentru a susține o filozofie a ateismului, nihilismului și disperării. Cu înțelegerea îmbunătățită a cosmologiei pe care o avem, noi putem imagina astăzi un tablou oarecum diferit. Universul poate să se scufunde, dar el nu se sfîrșește. Legea a II-a a termodinamicii cu siguranță se aplică, dar ea nu exclude în mod necesar imortalitatea culturală.

În realitate, lucrurile pot să nu fie atît de rele ca în scenariul lui Dyson. Pînă aici am presupus că universul rămîne mai mult sau mai puțin uniform atunci cînd el

se extinde și se răcește, dar acest lucru poate să nu fie corect. Gravitația este sursa multor instabilități, iar uniformitatea la scară mare a cosmosului pe care o vedem astăzi ar putea da naștere unei situații mult mai complicate în viitorul îndepărtat. De exemplu, micile variații ale ratei de expansiune în diferite direcții s-ar putea amplifica. Imense găuri negre s-ar putea uni și atracția lor mutuală ar putea depăși efectul de dispersie al expansiunii cosmologice. Aceasta ar conduce la o competiție ciudată. Amintiți-vă faptul că o gaură neagră cu cât este mai mică, cu atât este mai fierbinte și dispare mai repede. Dacă două găuri negre se unesc, gaura rezultantă va fi mai rece, și procesul de dispariție va cunoaște o cădere substanțială. În ceea ce privește viitorul foarte îndepărtat al universului, întrebarea care se pune este dacă rata de unificare a găurilor negre este suficientă pentru a echilibra pe cea a dispariției lor. Dacă este suficientă, atunci vor mai exista întotdeauna câteva găuri negre care prin radiația Hawking pot să furnizeze o sursă de energie folositoare pentru o comunitate de ființe, eventual dându-le posibilitatea de viață fără a avea nevoie de hibernare. Calculele făcute de fizicienii Don Page și Randall McKee sugerează faptul că această competiție este o chestiune pe muchie de cuțit și depinde în mod critic de viteza exactă cu care expansiunea universului continuă să scadă. Dar în unele modele unirea câștigă.

Dyson a neglijat și posibilitatea ca descendenții noștri să ajungă să modifice ei înșiși organizarea la scară mare a cosmosului pentru a-și menține longevitatea. Astrofizicienii John Barrow și Frank Tipler au analizat căile pe care o comunitate tehnologică avansată ar putea face mici modificări asupra mișcărilor stelelor, pentru a proiecta o situație gravitațională favorabilă lor. De exemplu, armele nucleare ar putea fi folosite

spre a perturba ușor orbita unui asteroid, astfel încât, de exemplu, el să primească o viteză ca din praștie de la o planetă pentru a se sfărîma apoi de soare. Momentul impactului va modifica foarte ușor orbita soarelui în galaxie. Deși efectul este mic, el este cumulativ: cu cît soarele se mișcă mai departe, cu atît deplasarea săvîrșită este mai mare. De-a lungul unei distanțe de mulți ani lumină deplasarea ar putea ajunge să producă o diferență crucială dacă soarele s-ar apropia de o altă stea, schimbînd o întîlnire pur și simplu liniștită într-una violentă ce ar modifica traiectoria soarelui în galaxie. Manipulînd multe stele, roiuri de corpuri astronomice pot fi create și folosite în beneficiul comunității. Și deoarece efectele se amplifică și se acumulează, nu există limite la măsura sistemelor ce pot fi astfel controlate, cu un mic ghiont aici și altul dincolo. Avînd un timp suficient — și descendenții noștri au cu siguranță destul timp la dispoziție — chiar galaxii întregi ar putea fi manevrate.

Acest grandios proiect cosmic ar trebui să intre în competiție cu comportamentul haotic natural al stelelor și galaxiilor pentru a le dezintegra, azvîrlindu-le corpurile din roiurile mărginite gravitațional, așa cum s-a descris în capitolul 7. Barrow și Tipler au concluzionat că ar fi nevoie de 10^{22} ani pentru a reordona o galaxie prin manipularea unui asteroid. Din păcate, dezagregarea naturală are loc în aproximativ 10^{19} ani, astfel încît se pare că bătălia este cîștigată de natură. Pe de altă parte, descendenții noștri pot prelua controlul asupra unor obiecte mult mai mari decît asteroizii. De asemenea, viteza dispersării naturale depinde de vitezele orbitale ale obiectelor. Cînd este vorba de galaxii întregi, aceste viteze scad cînd universul se extinde. Vitezele mai mici de asemenea fac manipularea artificială mai înceată, dar cele două efecte nu au aceeași viteză de

diminuare. Se pare că, o dată cu trecerea timpului, viteza degradării naturale ar trebui să scadă sub cea la care comunitatea de ingineri proiectanți ar putea reordona universul. Aceasta ridică posibilitatea interesantă ca, o dată cu scurgerea timpului, ființele inteligente să cîștige din ce în ce mai mult control asupra unui univers tot mai lipsit de resurse, pînă cînd întreaga natură este în mod esențial „tehnologizată” și deosebirea între ce este natural și ce este artificial dispare.

O afirmație principală a analizei lui Dyson este că procesele de gîndire inevitabil disipează energia. În mod sigur așa se întîmplă cu gîndirea umană și, pînă nu demult, se presupunea că orice formă de prelucrare a informației trebuie să plătească un tribut minim termodinamicii. Ceea ce, în mod surprinzător, nu este neapărat corect. Specialiștii în computere, Charles Bennett și Rolf Landauer de la IBM, au demonstrat că în principiu calculul reversibil este posibil. Aceasta înseamnă că (la ora actuală doar o ipoteză) sistemele fizice ar putea prelucra informație fără disipare. Este posibil de conceput un sistem care să gîndească un număr infinit de gînduri care să nu necesite nici un fel de alimentare cu energie! Nu este clar dacă un astfel de sistem poate atît să *adune* informație cît și să o prelucreză, pentru că orice achiziție de informație nebanală din împrejurimi ar părea să implice pierdere de energie într-o formă sau alta, chiar și numai fiindcă ar cere selectarea semnalului din zgomot. De aceea această nepretențioasă ființă nu ar avea nici o percepție a lumii din jurul ei. Ar putea totuși să-și amintească un univers care a fost. Poate ar putea să și viseze.

Imaginea universului în agonie i-a obsadat pe oamenii de știință timp de peste un secol. Concluzia că trăim într-un cosmos care degenerează constant prin risipa entropică face parte din folclorul culturii științifice.

Dar cât de bine este stabilit acest lucru? Putem oare fi siguri că toate procesele fizice duc inevitabil către haos și degradare?

Dar biologia? Cel mai defensiv mod în care unii biologi apără evoluția darwinistă dă o sugestie. Reacția lor provine, cred eu, de la contradicția neplăcută a unui proces care este condus în mod clar pentru a fi constructiv de forțe fizice ce se presupun a fi fundamental distructive. Viața pe Pământ a început probabil ca un fel de materie vâscoasă primordială. Astăzi biosfera este un ecosistem complex și bogat, o rețea complicat elaborată de organisme foarte variate aflate într-un proces subtil de interacțiune.

Deși biologii, temîndu-se poate de voința divină, neagă orice dovadă în sprijinul unui progres sistematic în evoluție, este evident atît pentru omul obișnuit, cât și pentru savant că ceva a progresat, mai mult sau mai puțin unidirecțional, de la apariția vieții pe Pământ. Problema este de a caracteriza această evoluție mai precis. Ce anume a progresat?

Discuțiile de pînă acum despre supraviețuire au fost centrate pe lupta dintre informație (sau ordine) și entropie — cu entropia avînd mereu cîștig de cauză. Dar oare informația *per se* este cantitatea de care trebuie să ne preocupăm? În cele din urmă, a ne croi drum în mod sistematic printre toate gîndurile posibile este la fel de captivant ca a citi cartea de telefon. Ceea ce contează este desigur *calitatea* experienței sau, mai general, calitatea informației ce este receptată și utilizată.

Atît cât putem ști, universul a început într-o fază mai mult sau mai puțin lipsită de trăsături conturate. Cu timpul au apărut bogăția, diversitatea și varietatea sistemelor fizice pe care le vedem azi. De aceea istoria universului este istoria creșterii complexității organizate. Acesta pare a fi un paradox. Mi-am început expunerea

arătînd că a II-a lege a termodinamicii ne spune că universul este pe moarte, alunecînd în mod inexorabil de la un stadiu inițial de joasă entropie către unul final de entropie maximă și nulă ca perspectivă. Oare lucrurile se îmbunătățesc sau se înrăutățesc?

În realitate nu există nici un paradox, deoarece complexitatea organizată nu este același lucru cu entropia. Entropia, sau dezordinea, reprezintă negativul de la ordine sau informație: cu cît prelucrăm mai multă informație sau generăm mai multă ordine, cu atît mai mare este prețul entropic plătit: ordine aici înseamnă dezordine în altă parte. Legea a II-a spune că entropia cîștigă întotdeauna. Dar organizarea și complexitatea sînt numai ordine și informație. Ele se referă și la anumite *feluri* de ordine și informație. Se poate face o distincție importantă între, să spunem, o bacterie și un cristal. Amîndouă sînt ordonate, dar într-un fel diferit. O rețea de cristal reprezintă uniformitatea înregimentată, foarte frumoasă, dar absolut plictisitoare. Prin contrast, organizarea elaborată a unei bacterii este mult mai interesantă.

Acestea par judecăți subiective, dar ele pot fi întărite prin raționamente matematice. În ultimii ani a fost deschis un întreg nou cîmp de cercetare, al cărui scop este de a cuantifica astfel de concepte cum ar fi complexitatea organizată și el caută să stabilească principii generale ale organizării pentru a le alătura legilor deja existente ale fizicii. Tema se află încă în perioada de început, dar reprezintă deja o provocare la adresa multor concluzii tradiționale despre ordine și haos.

În cartea mea *The Cosmic Blueprint* susțin că în univers operează un fel de „lege a creșterii complexității”, care trebuie să stea alături de a II-a lege a termodinamicii. Nu există o incompatibilitate între aceste două legi. În practică, o creștere a complexității de organizare a unui sistem fizic mărește entropia. De

exemplu, în evoluția biologică, un organism nou, mai complex, apare numai după ce a avut loc o mulțime de procese fizice și biologice distructive (moartea prematură a unor mutanți neadaptați, de exemplu). Chiar formarea unui fulg de zăpadă creează pierdere de căldură care ridică entropia universului. Dar, așa cum am explicat, legătura nu este directă, pentru că organizarea nu reprezintă negativul entropiei.

Sînt foarte bucuros să aflu că mulți alți cercetători au ajuns la concluzii similare și se fac încercări pentru a se formula o „a II-a lege” a complexității. Deși compatibilă cu legea a II-a a termodinamicii, legea complexității dă o foarte diferită imagine asupra schimbării cosmice, descriind un univers *progresînd* (într-un anume sens să fie făcut riguros prin investigațiile la care am făcut aluzie), de la începuturile lipsite de contur pînă la stadii din ce în ce mai complex elaborate.

În contextul sfîrșitului universului, existența unei legi a complexității crescînde are o profundă semnificație. Dacă complexitatea organizată nu este opusul entropiei, atunci păstrarea limitată a entropiei negative în univers nu trebuie neapărat să pună o limită nivelului de complexitate. Prețul entropic plătit pentru creșterea complexității poate fi mai curînd pur și simplu incidental decît fundamental, așa cum este cazul cu simpla ordonare sau prelucrare a informației. Dacă este așa, atunci descendenții noștri ar putea fi capabili să ajungă la stadii de și mai mare complexitate a organizării fără a risipi resursele în scădere. Deși vor putea avea restricții în ceea ce privește cantitatea de informație de prelucrat, s-ar putea să nu existe limită în ce privește bogăția și calitatea activităților lor fizice și mentale.

În capitolul acesta, ca și în ultimul, am încercat să zugrăvesc în fugă imaginea unui univers încetinind, dar poate nepierzîndu-și niciodată energia chiar complet, a

unor bizare creaturi științifico-fantastice prelungindu-și existența împotriva a nenumărate evenimente ce se îngrămădesc contra lor din ce în ce mai mult, testându-le ingeniozitatea împotriva inexorabilei logici a celei de-a II-a legi a termodinamicii. Imaginea disperatei lor lupte pentru supraviețuire, care nu este totuși neapărat fără speranță, poate să-i încurajeze pe unii cititori, în timp ce-i deprimă pe alții. Sentimentele mele sînt amestecate.

Întreaga speculație este totuși bazată pe concluzia că universul va continua să se extindă pentru totdeauna. Am văzut cum acesta este doar unul din destinele posibile ale cosmosului. Dacă expansiunea scade suficient de repede, universul poate să-și oprească într-o zi expansiunea și să înceapă să se contracte către o implozie. Atunci ce speranță de supraviețuire ar mai fi?

Viața în ritm rapid

Nici o cantitate de ingeniozitate a oamenilor sau a altor făpturi nu poate prelungi viața pe vecie, dacă „vecia” nu există. Dacă universul ca întreg poate exista doar un timp finit, atunci Armageddon este inevitabil. În capitolul 6 am explicat cum soarta finală a cosmosului depinde de greutatea sa totală. Observațiile sugerează faptul că greutatea universului se află foarte aproape de linia critică de graniță dintre expansiunea eternă și colapsul final. Dacă universul ar începe pînă la urmă să se contracte, atunci experiențele oricărei ființe sensibile ar fi într-adevăr total diferite de descrierea făcută în ultimul capitol.

Stadiile timpurii ale contracției cosmologice nu sînt deloc amenințătoare. Ca o minge ce ajunge la capătul traiectoriei sale, universul va începe căderea în interiorul său foarte încet. Să presupunem pentru moment că cel mai înalt punct este atins peste o sută de miliarde de ani, atunci vor fi încă multe stele care ard, iar descendenții noștri care vor fi capabili să urmărească mișcările galaxiilor îndepărtate cu ajutorul telescoapelor optice vor vedea cum ele își încetinesc treptat fuga și încep să cadă înapoi una către alta. Galaxiile pe care le putem vedea azi vor fi aproximativ de patru ori mai

depărtate la acel moment. Datorită vârstei mai mari a universului, astronomii vor fi capabili să vadă cam de zece ori mai departe decât acum, astfel încât universul lor observabil va cuprinde mult mai multe galaxii decât cele vizibile în epoca noastră cosmică.

Faptul că lumina are nevoie de multe miliarde de ani pentru a traversa cosmosul înseamnă că o sută de miliarde de ani de aici încolo nici un astronom nu va putea vedea contracția un timp foarte îndelungat. Mai întâi ei vor observa că galaxiile relativ învecinate se apropie în medie mai mult decât se retrag, dar lumina ce vine de la cele îndepărtate va apărea deplasată spre roșu. Numai după zeci de miliarde de ani ar deveni aparentă o sistematică prăbușire. Mai ușor de recunoscut ar fi o ușoară schimbare în temperatura radiației termice de fond. Reamintiți-vă că este rămasă de la explozia inițială și are în mod curent temperatura de aproximativ trei grade peste zero absolut. Ea se răcește pe măsură ce universul se extinde. În o sută de miliarde de ani ea va fi scăzut la aproximativ un grad. Temperatura ajunge pînă la înaltul punct de expansiune și de îndată ce se instalează contracția, temperatura va începe din nou să crească, revenind la trei grade cînd universul s-a contractat pînă la aceeași densitate ca astăzi. Acest lucru va dura încă o sută de miliarde de ani: ridicarea și căderea universului sînt simetrice în timp.

Universul nu colapsează pur și simplu peste noapte. În adevăr, pentru zeci de miliarde de ani, descendenții noștri vor putea avea un trai bun, chiar după ce va fi început contracția. Totuși, situația nu este chiar așa de roz, dacă schimbarea are loc după o perioadă mult mai lungă de timp, să spunem un bilion de bilioane de ani. În acest caz, stelele vor fi ars deja înainte de atingerea punctului cel mai înalt și toți locuitorii supraviețuitori vor face față acelorași probleme ca și cele întîlnite în orice colț al unui univers aflat în expansiune veșnică.

Oricînd s-ar produce schimbarea, măsurată începînd de acum în ani, după același număr de ani universul va ajunge din nou la dimensiunea actuală. Totuși aspectul său va fi foarte diferit. Chiar la o schimbare la o sută de miliarde de ani, vor exista mult mai multe găuri negre și mult mai puține stele decît acum. Planetele locuibile vor fi foarte solicitate.

În momentul cînd universul se va întoarce la dimensiunea actuală, el va continua să se contracte într-un ritm suficient, înjumătățindu-și dimensiunile în aproximativ trei miliarde și jumătate de ani și accelerînd mereu ritmul. Distracția începe la aproximativ zece miliarde de ani după aceasta, în momentul în care creșterea de temperatură a radiației termice de fond va fi început totuși să devină o serioasă amenințare. Atunci cînd temperatura se va fi ridicat la aproape 300°K , o planetă ca Pămîntul ar avea dificultăți în a se debarasa de căldură. Ea ar începe să se încălzească implacabil. Mai întîi s-ar topi calotele de gheață și ghețarii, apoi oceanele ar începe să se evapore.

Peste 40 milioane de ani, temperatura radiației de fond ar ajunge la media temperaturii de astăzi a Pămîntului. Planetele de tipul Pămîntului ar fi atunci complet inospitaliere. Desigur Pămîntul va fi înfruntat deja o soartă asemănătoare, pentru că soarele se va fi dilatat devenind o gigantă roșie, dar de data aceasta nu există nici un loc unde să se ducă descendenții noștri, nici un refugiu sigur. Radiația termică umple întregul univers. În întregul spațiu temperatura este de 200°C și crește mereu. Toți astronomii care s-au adaptat la condițiile toride sau au creat ecosisteme congelate, pentru a întîrzia momentul în care vor fi prăjiți, și-ar da seama că universul colapsează cu pași mari, înjumătățindu-și dimensiunile la fiecare cîteva milioane de ani. Toate galaxiile ce mai există încă ar deveni de

nerecunoscut, deoarece se vor fi contopit. Totuși, ar mai exista mult spațiu gol: coliziunile între stele ar fi rare.

Condițiile în universul ce se apropie de faza sa finală ar începe din ce în ce mai mult să semene cu cele ce au prevalat la scurt timp după explozia inițială. Astronomul Martin Rees s-a ocupat de un studiu escatologic al cosmosului. Aplicînd principiile generale ale fizicii, el a fost capabil să construiască o imagine a ultimelor stadii ale colapsului. În cele din urmă, radiația termică cosmică ar fi atît de intensă încît cerul nopții ar deveni o vîlvătaie de un roșu mohorît. Universul s-ar transforma încet într-un furnal cosmic ce cuprinde totul, arzînd orice formă fragilă de viață, oriunde s-ar ascunde ea și îndepărtînd atmosferele planetare. Treptat, vîlvătaia roșie ar deveni galbenă, apoi albă, pînă cînd radiația aprigă și fierbinte ce scaldă universul ar deveni o amenințare chiar pentru existența stelelor. Incapabile să-și împrăstie energia, stelele ar depozita în interiorul lor căldura și ar exploda. Spațiul s-ar umple cu gaz fierbinte, sau plasmă, arzînd într-o puternică vîlvătaie și devenind din ce în ce mai fierbinte.

Pe măsură ce ritmul schimbării crește, condițiile devin din ce în ce mai extreme. Universul începe să se schimbe în mod substanțial la o scară de timp de numai o sută de mii de ani, apoi o mie, apoi o sută, grăbindu-se către catastrofa totală. Temperatura se ridică la milioane și apoi la miliarde de grade. Materia care astăzi ocupă regiuni vaste ale spațiului este comprimată în volume mici. Masa unei galaxii ocupă un spațiu de numai cîțiva ani lumină în diagonală. Au sosit ultimele trei minute.

Temperatura devine în cele din urmă atît de mare încît chiar nucleele atomice se dezintegrează. Materia apare ca formată din dungi uniforme de particule ele-

mentare, alcătuiind un amalgam (o „ciorbă“). Toată munca și întregul aport ale exploziei inițiale și ale generațiilor de stele în crearea elementelor chimice grele sînt distruse în mai puțin timp decît vă ia să citiți această pagină. Nucleele atomice — structuri stabile — care ar putea să fi rezistat epoci nespuse de lungi sînt strivite în mod ireversibil. Cu excepția găurilor negre, toate celelalte structuri au fost deja demult anihilate. Acum universul se bucură de o elegantă dar sinistră simplitate. Nu mai are de trăit decît cîteva secunde.

În timp ce cosmosul colapsează din ce în ce mai repede, temperatura se ridică fără limite. Materia este comprimată atît de puternic, încît nu mai există protoni și neutroni individuali, există numai o „ciorbă“ de particule quark. Viteza de colapsare continuă să crească.

S-a ajuns acum la catastrofa cosmică finală, sîntem cu cîteva microsecunde înainte. Găurile negre încep să se contopească, interioarele lor diferind doar puțin de stadiul general de colapsare a universului însuși. Există acum regiuni spațio-temporale care au trăit deja sfîrșitul puțin mai devreme și sînt ajunse din urmă de restul cosmosului.

În momentele finale, gravitația devine forța atotstăpînitoare, strivind fără milă materie și spațiu. Curbura spațio-temporală crește din ce în ce mai repede. Regiuni din ce în ce mai mari ale spațiului sînt comprimate în volume din ce în ce mai mici. Așa cum spune teoria convențională, implozia devine extraordinar de puternică, strivind tot ce există ca obiecte fizice și anihilîndu-le, inclusiv spațiul și timpul, către o singularitate spațio-temporală.

Acesta este sfîrșitul.

„Marea implozie“, atît cît o înțelegem, nu reprezintă doar sfîrșitul materiei. Ea este sfîrșitul a *tot ce există*. Deoarece timpul însuși încetează să mai existe, este

lipsit de sens să ne întrebăm ce se întâmplă *după* aceea, așa cum este la fel de fără sens întrebarea cu privire la ce s-a întâmplat înainte de explozia inițială. Nu există nici un „după” pentru a se mai întâmpla ceva, nu există nici un timp, nici măcar pentru inactivitate și nici spațiu pentru goliciune. Un univers care a început din nimic o dată cu explozia inițială va dispărea în nimic o dată cu sfârșirea finală, din măreții săi ani de existență, infiniți la număr, nerămânând nici măcar o amintire.

Oare ar trebui să fim deprimăți de o asemenea perspectivă? Ce este mai rău, un univers ce degenerază încet, extinzându-se mereu către un stadiu de gol negru, sau unul aflat într-o implozie înspăimântătoare către uitarea totală? Și ce speranță de imortalitate mai poate fi acum, într-un univers destinat a sfârși înainte de vreme?

Viața în preajma marii sfârșiri pare mai lipsită de speranțe decât cea din viitorul foarte îndepărtat al unui univers în veșnică expansiune. Problema nu mai este acum lipsa de energie, ci excesul ei. Totuși descendenții noștri vor avea la dispoziție miliarde sau chiar bilioane de ani să se pregătească pentru holocaustul final. În această perioadă, viața s-ar putea extinde în cosmos. În cel mai simplu model de univers care colapsează volumul total al spațiului este de fapt finit. Aceasta se datorează faptului că spațiul este curbat și se poate uni cu el însuși în echivalentul tridimensional al suprafeței unei sfere. De aceea este de conceput că ființe inteligente se pot răspîndi prin univers și pot prelua controlul asupra lui și de aceea să se afle în poziția de a înfrunta sfârșirea finală avînd toate resursele posibile la dispoziția lor.

La început este greu să ne dăm seama de ce ar trebui ele să-și facă probleme. Fiind dat faptul că existența dincolo de sfârșirea finală este o imposibilitate din punct de vedere logic, care ar fi scopul prelungirii puțin

mai mult a agoniei? Anihilarea cu zece milioane sau un milion de ani înainte de sfârșit este același lucru, oricum, într-un univers bătrîn de bilioane de ani. Dar nu trebuie să uităm că timpul este relativ. Timpul subiectiv al urmașilor noștri va depinde de viteza lor de metabolism și de prelucrare a informației. Din nou, presupunînd că ei au suficient timp pentru a-și adapta forma fizică, ei pot deveni capabili să transforme apropierea de Hades într-un soi de nemurire.

O temperatură în creștere înseamnă că particulele se mișcă mai iute și procesele fizice au loc mai repede. Amintiți-vă că cerința esențială pentru o ființă sensibilă este posibilitatea de a prelucra informația. Într-un univers cu o temperatură în creștere, viteza de prelucrare a informației va crește și ea. Pentru o ființă ce folosește procesele termodinamice la un miliard de grade, distrugerea iminentă a universului va părea să se petreacă peste mulți, mulți ani. Nu este deci nevoie să ne temem de sfârșitul timpului, dacă timpul rămas poate fi întins la infinit în mințile observatorilor. Cum colapsul se accelerează către implozia finală, experiențele subiective ale observatorilor s-ar putea în principiu dilata și mai repede, egalînd căderea accelerată către Armageddon cu o viteză din ce în ce mai mare de gîndire.

Ne-am putea întreba dacă o superființă aflată în universul ce colapsează în momentele finale ar putea poseda un număr infinit de gînduri și experiențe distincte în timpul finit disponibil. Această chestiune a fost studiată de John Barrow și Frank Tipler. Răspunsul depinde în mod critic de detaliile fizice din stadiile finale. De exemplu, dacă universul rămîne suficient de uniform în apropierea sa de singularitatea finală, se ridică o problemă majoră. Oricare ar fi viteza gîndului, viteza luminii rămîne neschimbată și lumina

poate călători cu viteze de cel mult o secundă lumină în fiecare secundă. Deoarece viteza luminii definește viteza limită cu care *orice* efect fizic poate să se propage, urmează că nu vor putea avea loc nici un fel de comunicații între regiunile din univers aflate la mai mult de o secundă lumină, în timpul ultimei secunde. (Acesta este un alt exemplu de orizont al evenimentelor, similar celui ce împiedică ieșirea informației din găurile negre.) Pe măsură ce sfârșitul se apropie, dimensiunile regiunilor cu care comunicăm și numărul particulelor pe care ele le conțin tind către zero. Pentru ca un sistem să poată prelucra informație, trebuie ca toate părțile sistemului să participe. În mod clar, viteza finită a luminii acționează pentru a limita dimensiunea oricărui „creier” care ar exista în apropierea sfârșitului, iar acesta, în schimb, ar putea limita numărul stadiilor distincte — așadar gândurile — pe care le poate avea un astfel de creier.

Pentru a scăpa de această restricție, ar fi necesar ca stadiile finale de colapsare a cosmosului să se abată de la uniformitate și, într-adevăr, acest lucru este foarte probabil. Cercetările matematice extinse ale colapsului gravitațional sugerează faptul că în timpul imploziei universului, viteza de colapsare pe diferite direcții începe să varieze. În mod ciudat, nu este numai o chestiune legată de faptul că universul se contractă mai repede pe o direcție decât pe alta. Apar niște oscilații, astfel încât direcția cu colapsarea cea mai rapidă continuă să se schimbe. De fapt, universul pendulează în drumul său către extindere, în cicluri ale căror violențe și complexități cresc mereu. Barrow și Tripler presupun că aceste oscilații complicate cauzează dispariția orizontului evenimentelor întâi într-o direcție, apoi în alta, permițând tuturor regiunilor spațiului să se afle în legătură. Orice supercreier ar avea nevoie să fie inge-

nios și rapid și să comute butonul comunicării dintr-o direcție în alta pe măsură ce oscilațiile determină un colaps mai rapid pe o direcție și apoi pe alta. Dacă ființa reușește să țină pasul, oscilațiile ar putea ele însele să furnizeze energia necesară pentru a conduce procesele de gândire. Mai mult, în modelele matematice simple numărul de oscilații apare infinit pe o durată finită de timp ce se termină cu sfârșimarea finală. Acest lucru se îngrijește de o cantitate infinită de informație prelucrată și de aici înainte, prin supoziție, de un timp subiectiv infinit pentru superființă. Astfel, lumea minții poate să nu se termine niciodată, chiar dacă cea fizică ajunge la o încetare bruscă o dată cu sfârșimarea finală.

Ce ar fi capabil să facă un creier de capacitate nelimitată? După părerea lui Tipler, nu numai că ar putea să delibereze asupra tuturor aspectelor existenței sale și a universului pe care l-a cuprins, dar cu o putere infinită de prelucrare a informației, ar putea continua simulând lumi imaginare într-o orgie a realității virtuale. Nu ar exista nici o limită a numărului de universuri posibile de conținut în acest fel. Astfel, nu numai că ultimele trei minute ar fi lungite către eternitate, dar ele ar permite realitatea simulată a unei infinite varietăți de activitate cosmică.

Din păcate, aceste speculații (oarecum „exotice”) depind de modele fizice foarte particulare, care se pot dovedi a fi total nerealiste. Ele ignoră de asemenea efectele cuantice care ar domina probabil stadiile finale ale colapsului gravitațional și ar putea pune o limită finală vitezei de procesare a informației. Dacă este așa, atunci să sperăm că superființa cosmică sau super-computerul vor ajunge măcar să înțeleagă suficient de bine existența și în timp util pentru a se împăca cu ideea propriei lor mortalități.

Moarte bruscă — și renaștere

Pînă aici am presupus că sfîrșitul universului, fie prin explozie, fie printr-un scîncet înăbușit (sau, mai curînd, prin implozie sau înghețare) va avea loc în viitorul foarte, foarte îndepărtat, eventual infinit. Dacă universul colapsează, urmașii noștri ar avea multe miliarde de ani la dispoziție pentru a fi preveniți de implozia inevitabilă. Dar mai rămîne o posibilitate, mult mai alarmantă.

Așa cum am explicat, cînd astronomii privesc atent cerul, ei nu văd universul așa cum este acum, etalat ca o fotografie instantanee. Deoarece există un timp necesar luminii să ajungă la noi din regiuni foarte îndepărtate, vedem orice obiect din spațiu așa cum a fost cînd radiația luminoasă a fost emisă. Telescopul este un căutător în timp, un „timposcop“. Cu cît un obiect este mai îndepărtat, cu atît mai îndepărtată în timp va fi și imaginea sa pe care o vedem azi. Într-adevăr, universul astronomilor reprezintă o privire retrospectivă prin spațiu și timp cunoscută din punct de vedere tehnic sub numele de „conul luminii trecute“ și desenată în fig. 10.1.

În concordanță cu teoria relativității, nici o informație sau influență fizică nu poate călători mai repede decît lumina. De aceea, conul luminii trecute marchează

limita, nu numai a tuturor cunoștințelor despre univers, dar și a tuturor evenimentelor care ne pot afecta în acest moment. Urmează că orice influență fizică ce vine la noi cu viteza luminii sosește fără a ne preveni. Dacă sfârșitul catastrofal se îndreaptă către noi prin conul luminii trecute, nu va avea nici un sol care să-l prevestească. Vom afla despre el în momentul în care ne va lovi.

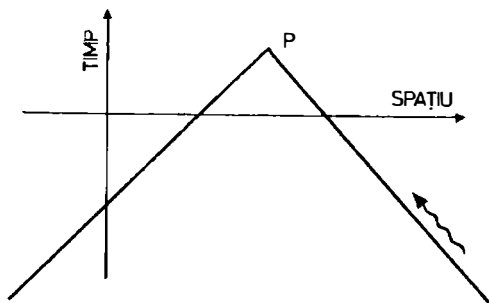


FIGURA 10.1 Dintr-un anumit punct P aflat în spațiu și timp, care ar putea fi de exemplu *acum* și *aici*, un astronom ce privește către univers îl vede de fapt așa cum era în trecut, nu cum este în prezent. Informația ce sosește la P călătorește de-a lungul „conului luminii trecute”, trecând prin P , marcat prin liniile oblice. Acestea sînt căările semnalelor luminoase convergînd pe Pămînt din regiunile îndepărtate ale universului din trecut. Deoarece nici o informație sau influență fizică nu poate călători mai repede decît lumina, observatorul poate la momentul considerat doar să afle despre evenimentele sau influențele ce se petrec în regiunea umbrită. Un eveniment apocaliptic petrecut în afara conului de lumină trecută ar putea să trimită influențe dezastruoase (linie ondulată) gonind către Pămînt, dar observatorul ar fi total neprevenit pînă cînd ele nu ar sosi.

Pentru a da un exemplu ipotetic simplu, dacă soarele ar exploda acum, noi nu am fi informați despre aceasta decît cu opt minute și jumătate mai tîrziu, acesta fiind timpul necesar luminii să străbată distanța de la soare la Pămînt. În mod similar, este foarte posibil ca o stea

apropiată să fi explodat deja ca supernovă — un eveniment ce ar putea scălda Pământul cu radiații mortale —, dar noi vom rămîne total ignoranți încă cîțiva ani în timp ce vestea rea va străbate galaxia cu viteza luminii. Astfel, deși universul pare destul de liniștit la momentul actual, nu putem fi siguri că nu s-a produs deja ceva groaznic.

Majoritatea violențelor ivite brusc în univers aduce stricăciuni pe o arie limitată, în vecinătatea cosmică locală. Moartea stelelor sau căderea materiei într-o gaură neagră vor distruge planete și stele vecine, poate pe o distanță de cîțiva ani lumină. Cea mai spectaculoasă pare a fi cea de care au avut parte nucleele unor galaxii. Așa cum am descris, imense jeturi de materie sînt cîteodată aruncate cu o viteză de o fracțiune importantă din viteza luminii și o dată cu ele sînt emise mari cantități de radiații. Aceasta este violență la scară galactică.

Dar ce se poate spune despre evenimentele distructive la proporții ce afectează întregul univers? Ar fi posibil să aibă loc o convulsie care să distrugă întregul cosmos dintr-o lovitură, în miezul vieții, ca să spunem așa? Ar fi putut deci o catastrofă cosmică să se fi declanșat deja, efectele sale neplăcute îndreptîndu-se spre noi chiar acum prin conul luminii trecute, către fragila noastră nișă în spațiu și timp?

În 1980, fizicienii Sidney Coleman și Frank De Luccia au publicat o lucrare rău prevestitoare cu un titlu inofensiv *Gravitational effects on and of Vacuum Decay* (Efectele gravitaționale asupra și ale dezintegrării vidului) în revista *Physical Review*. Vidul la care se referă ei nu este doar un spațiu gol ci starea de vid a fizicii cuantice. În capitolul 3 am explicat cum ceea ce poate să ne apară ca gol de fapt mustește de activitatea efemeră a cuantelor, în vreme ce particule virtuale fantomatice apar și dispar într-o zbenguială întîmplătoare. Să ne reamintim că această stare de vid poate să nu fie

unică. Ar putea exista mai multe stări cuantice, toate în aparență goale, dar bucurându-se de diferite niveluri de activitate cuantică și de diferite energii asociate.

Este un principiu bine stabilit al fizicii cuantice că stările cu energie mai înaltă tind să decadă către stări cu energie mică. Un atom, de exemplu, poate exista în diferite stări excitate, dar ele toate sînt instabile și atomul va încerca să decadă către cea mai mică energie în care devine stabil (starea „fundamentală”). În mod similar, o stare de vid excitat va încerca să decadă către nivelul de cea mai mică energie, sau starea de vid „adevărat”. Scenariul universului inflaționist se bazează pe teoria că universul foarte timpuriu a început cu o stare de vid excitat sau „fals”, timp în care s-a dilatat în mod frenetic, dar, după foarte scurt timp, această stare a decăzut către vidul adevărat și inflația a încetat.

Concluzia generală este că starea actuală a universului corespunde vidului adevărat, adică spațiul gol în epoca noastră este starea de vid cu nivelul de energie cel mai scăzut posibil. Dar sîntem oare siguri de aceasta? Coleman și De Luccia au analizat posibilitatea ca vidul actual să nu fie vidul „adevărat”, ci doar un vid metastabil mai de durată — care ne-a liniștit cu o falsă senzație de siguranță, pentru că a durat mai multe miliarde de ani. Știm de la multe sisteme cuantice, cum ar fi nucleele de uraniu, că timpul de înjumătățire este de miliarde de ani. Dacă vidul actual intră în această categorie? „Dezintegrarea” vidului menționată în titlul lucrării lui Coleman și De Luccia se referă la posibilitatea catastrofală ca starea actuală de vid să eșueze în mod neașteptat și să așeze cosmosul într-o stare de energie și mai scăzută, cu toate consecințele cumplite pentru noi.

Cheia ipotezei lui Coleman și De Luccia este fenomenul de tunelare cuantică. Acesta poate fi cel mai bine ilustrat cu cazul simplu al unei particule cuantice prinsă

de o barieră de forță. Să ne închipuim că particula se află într-o vale mărginită pe ambele părți de coline, așa cum se arată în fig. 10.2. Cu siguranță, acestea nu trebuie să fie coline adevărate, ele pot fi, de exemplu, câmpuri de forță electrică sau nucleară. În lipsa energiei necesare pentru a urca colinele (sau pentru a depăși bariera de forță) particula pare a fi prinsă pentru vecie. Dar să ne reamintim că toate particulele cuantice se supun principiului incertitudinii al lui Heisenberg, care permite ca energia să fie „împrumutată” pe durată scurtă. Aceasta deschide o posibilitate interesantă. Dacă particula poate împrumuta suficientă energie pentru a ajunge la vârful colinei și poate trece de cealaltă parte înainte de a trebui să dea energia înapoi, atunci particula poate scăpa din gaură. De fapt ar însemna că a trecut prin efectul de „tunel” al barierei.

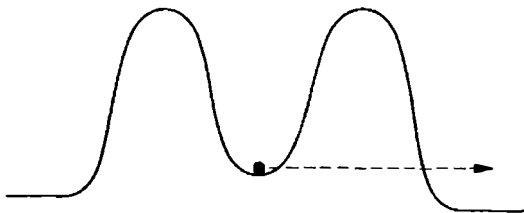


FIGURA 10.2 Efectul tunel. Dacă o particulă cuantică este prinsă într-o vale între două coline, există o mică probabilitate ca ea să evadeze împrumutând energie și sărind peste colină. De fapt, ea este observată „tunelând” prin barieră. Un caz obișnuit se petrece atunci când particulele alfa din nucleele unor anumite elemente „tunelează” prin bariera forței nucleare și pleacă în zbor — fenomen cunoscut ca radioactivitate alfa. În acest exemplu, „colina” se datorează forțelor electrice și nucleare, iar desenul de aici este numai schematic.

Probabilitatea ca particula cuantică „să scape” prin efectul tunel dintr-o gaură ca aceasta depinde foarte

mult atît de adîncimea cît și de lățimea barierei. Cu cît bariera este mai înaltă, cu atît particula are nevoie să împrumute mai multă energie pentru a ajunge în vîrf și astfel, conform principiului incertitudinii, cu atît mai scurtă trebuie să fie durata împrumutului. În consecință, barierele înalte pot fi „tunelate” doar dacă sînt subțiri, permițînd particulei să le treacă suficient de repede pentru a restitui împrumutul la timp. De aceea efectul tunel nu este observabil în viața de toate zilele: barierele macroscopice sînt mult prea înalte și late pentru ca să aibă loc o tunelare semnificativă. În principiu, o ființă omenească poate să treacă printr-un zid de cărămidă, dar probabilitatea de tunelare cuantică pentru acest miracol este extrem de mică. Totuși, la scară atomică, efectul tunel este foarte obișnuit. Este, de exemplu, mecanismul prin care se produce radioactivitatea alfa. Efectul tunel este folosit și la semiconductoare și alte produse electronice cum ar fi dioda tunel.

Cu privire la problema posibilei dezintegrări a vidului prezent, Coleman și De Luccia au speculat faptul că acele cîmpuri cuantice care formează vidul ar putea fi supuse la un peisaj (metaforic) de forțe, așa cum se vede în fig. 10.3. Starea actuală de vid corespunde bazei din valea A. Vidul adevărat corespunde totuși bazei din valea B, care este mai joasă decît A. Vidul ar dori să decadă de la energia mai înaltă a stării A, la aceea mai joasă a stării B, dar este împiedicat să o facă de „colina” sau cîmpul de forță care le separă. Deși colina împiedică dezintegrarea, ea nu o exclude total datorită efectului tunel: sistemul poate „tunela” din valea A către valea B. Dacă teoria este corectă, atunci universul trăiește pe timp împrumutat, agățat în valea A, dar cu o șansă clară de a „tunela” către valea B la un moment dat.

Coleman și De Luccia au fost capabili să modeleze matematic dezintegrarea vidului, trăsînd maniera în care

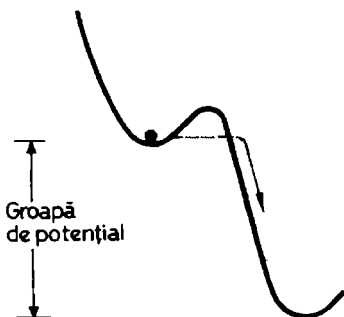


FIGURA 10.3 Stările de vid fals și adevărat. Ar putea fi cazul ca starea cuantică prezentă a spațiului gol A să nu fie starea de cea mai mică energie, dar să fie oricum cvasistabilizată corespunzînd unui fel de vale de înaltă altitudine. Atunci ar exista o mică probabilitate ca această stare să decadă prin efectul tunel către starea B de bază, cu adevărat stabilă. Această tranziție între cele două stări, producîndu-se pe cale formării bulei, ar elibera o mare cantitate de energie.

fenomenul se petrece. Ei au descoperit că dezintegrarea va începe într-un loc oarecare din spațiu sub forma unei slabe bule de vid „adevărat” înconjurată de vidul „fals” instabil. De îndată ce bula de vid adevărat se va forma, ea se va extinde, cu o viteză apropiindu-se rapid de cea a luminii, absorbînd regiuni din ce în ce mai largi din vidul fals și transformîndu-le instantaneu în vid adevărat. Diferența de energie dintre cele două stări, care ar fi putut să aibă tipul de valori enorme despre care am discutat în capitolul 3, este concentrată în peretele bulei ce zboară rapid prin univers distrugînd totul în calea sa.

Primul moment în care vom afla de existența unei bule de vid adevărat va fi cînd peretele va ajunge la

structura cuantică a lumii noastre brusc schimbată. Nu vom avea nici măcar trei minute pentru a fi preveniți. Instantaneu, natura tuturor particulelor subatomice și a interacțiunilor lor s-ar schimba total; de exemplu, protonii pot să se dezintegreze instantaneu, caz în care întreaga materie ar dispărea rapid. Ceea ce ar rămîne s-ar găsi în interiorul bulei de vid adevărat, o stare de lucruri foarte diferită de ceea ce observăm pe moment. Cea mai importantă diferență privește gravitația. Coleman și De Luccia au descoperit că energia și presiunea vidului adevărat ar crea un câmp gravitațional atît de intens că regiunea din interiorul bulei ar colapsa, chiar în timp ce peretele bulei se extinde, în mai puțin de cîteva microsecunde. De data aceasta nu va fi o cădere lină către o implozie finală; în loc de aceasta se produce o anihilare aproape imediată a tot ce există atunci cînd interiorul bulei cade într-o implozie rapidă către o singularitate spațio-temporală. Pe scurt, o implozie instantanee. „Aceasta este descurajant“ — remarcă autorii într-o declarație magistrală și continuă: „Posibilitatea de a viețui într-un vid fals nu a fost niciodată ceva plăcut de contemplat. Dezintegrarea vidului reprezintă ultima catastrofă ecologică; ...după aceasta nu numai viața, așa cum o cunoaștem, devine imposibilă, dar și chimia, așa cum o cunoaștem. Totuși, am putea să extragem o reconfortare stoică din posibilitatea ca în decursul timpului noul vid să susțină dacă nu viața așa cum o cunoaștem noi, cel puțin unele structuri capabile de a cunoaște bucuria. Această posibilitate a fost acum eliminată.“

Consecințele îngrozitoare ale dezintegrării vidului au devenit subiectul multor discuții între fizicieni și astronomi, după publicarea lucrării lui Coleman și De Luccia. Într-un studiu ce a urmat, publicat în revista *Nature*, cosmologul Michael Turner și fizicianul Frank

Wilczek au ajuns la concluzia apocaliptică: „Din punct de vedere al microfizicii, atunci, este de conceput că vidul nostru este metastabil... fără a avertiza, o bulă de vid adevărat poate să nucleeeze undeva în univers și să se miște în exterior cu viteza luminii.“

Curînd după ce a apărut lucrarea lui Turner și Wilczek, Piet Hut și Martin Rees, și ei publicînd în *Nature*, au ridicat spectrul alarmant că organizarea atomică a unei bule de vid ce distruge universul ar putea fi declanșată în mod necontrolat de înșiși fizicienii specialiști în particule. Îngrijorarea constă în faptul că coliziunea de energie foarte înaltă a particulelor subatomice ar putea crea condițiile — doar pentru o clipă într-o foarte mică regiune a spațiului — care ar favoriza dezintegrarea vidului. O dată ce tranziția a avut loc, chiar la o scară microscopică, nu ar mai exista nici o stavilă în calea formării din bule nou apărute a unui balon de proporții astronomice. Ar trebui oare să interzicem noua generație de acceleratoarele de particule?

Hut și Rees ne-au dat asigurări pozitive. Ei au scos în evidență faptul că radiațiile cosmice realizează energii mai înalte decît putem noi face în interiorul acceleratoarelor noastre de particule și că aceste radiații cosmice au ciocnit nuclee în atmosfera terestră de miliarde de ani, fără a declanșa dezintegrarea vidului. Pe de altă parte, printr-o îmbunătățire cu un factor de ordinul sutelor în energiile acceleratorului, am putea fi capabili să creăm coliziuni cu energie mai înaltă decît oricare s-ar fi datorat impactului razelor cosmice cu Pămîntul. Totuși adevărata problemă nu este dacă formarea bulelor ar putea avea loc pe Pămînt, ci dacă a avut loc oriunde în universul observabil și în orice moment după explozia inițială. Hut și Rees au subliniat că sînt foarte rare coliziunile frontale între două raze cosmice. Ei au calculat că în decursul istoriei universului tre-

buie să se fi produs evenimente de coliziuni cu energii de un miliard de ori mai mari decît cele produse în acceleratoarele existente. De aceea nu avem nevoie încă de o autoritate regulatoare.

În mod paradoxal, același fenomen al formării bulei de vid, care într-un context ar putea amenința însăși existența cosmosului, într-un context puțin diferit se dovedește a fi unica sa salvare realizabilă. O cale sigură de a scăpa de moartea universului este să creăm unul nou și să ne adăpostim în el. Aceasta ar putea să sune ca ultimul cuvînt într-o speculație exaltată, dar tema „universului copil” a devenit una din cele mai discutate în ultimii ani și are adepți serioși. Subiectul a fost pus în discuție pentru prima oară de un grup de fizicieni japonezi, în 1981; ei au studiat un model matematic simplu de comportament al unei mici bule de vid fals, înconjurată de vid adevărat. Situația este de aceea exact inversă celei discutate anterior. Ceea ce s-a prezis este că vidul fals se va umfla în maniera descrisă în capitolul 3, răspîndindu-se rapid în univers printr-o explozie inițială. Mai întîi se pare că inflația bulei de vid fals trebuie să determine peretele bulei să se extindă, astfel încît regiunea vidului fals să crească în defavoarea celei de vid adevărat. Dar acest lucru contravine așteptării că vidul *adevărat* de energie joasă este cel care ar trebui să înlocuiască vidul fals de energie mai înaltă și nu invers.

În mod ciudat, văzută din regiunea vidului adevărat, regiunea din spațiu ocupată de bula de vid fals nu pare a-și mări volumul. De fapt, ea seamănă mai mult cu o gaură neagră. Această situație este asemănătoare mașinii timpului, Tardis, care pare mai mare din interior decît din exterior. Un observator ipotetic situat în interiorul bulei de vid fals ar vedea universul umflîndu-se la proporții imense, dar privit din exteriorul bulei el rămîne compact.

Un fel de a privi această stare specială de lucruri este prin analogie cu o foaie de cauciuc care se dezumflă într-un loc și se umflă în altul (vezi fig. 10.4). Balonul formează un fel de univers copil legat de universul mamă printr-un cordon ombilical — sau o gaură de vierme. Gâtul găurii de vierme apare din universul mamei ca o gaură neagră. Această configurație este de fapt instabilă. Gaura neagră se evaporă rapid datorită efectului Hawking, dispărînd complet din universul mamă. Ca rezultat, gaura de vierme se îngustează și universul copil încetează de a fi conectat la universul mamă pentru a deveni un nou univers independent ce își intră în drepturi. Dezvoltarea universului copil după această „înmugurire“ are loc asemănător cu cea a universului nostru: o scurtă perioadă de inflație urmată de obișnuita explozie fierbinte. Modelul are o implicație evidentă și anume faptul că universul nostru s-a născut exact în acest mod, ca progenitură a altui univers.

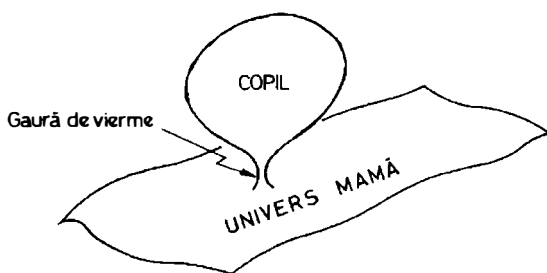


FIGURA 10.4 O bulă de spațiu se umflă din universul mamă pentru a forma un univers copil, legat de mamă printr-o gaură ombilicală de vierme. Din punctul de vedere al universului mamă, gura găurii de vierme ar apărea ca o gaură neagră. Pe măsură ce gaura neagră dispare, gâtul găurii de vierme se îngustează, realizînd astfel desprinderea universului copil, care de atunci încolo duce o existență independentă ca un univers în toate drepturile.

Alan Guth, fondatorul teoriei inflaționiste, și colegii săi au investigat dacă scenariul anterior permite posibilitatea ciudată de creare a unui nou univers în laborator. Contrar cazului groaznic al dezintegrării vidului fals într-o bulă de vid adevărat, crearea unei bule de vid fals înconjurată de vid adevărat nu amenință existența întregului univers. Într-adevăr, deși experimentul ar putea provoca o explozie inițială, ea ar fi complet limitată la interiorul unei mici găuri negre ce dispare curînd. Noul univers și-ar crea *propriul* spațiu, nu ar consuma din al nostru.

Deși ideea rămîne pur ipotetică și bazată în întregime pe teoretizare matematică, unele studii sugerează că crearea unui nou univers în acest fel poate fi posibilă prin concentrarea unor mari cantități de energie într-o manieră aranjată cu grijă. În viitorul foarte îndepărtat, atunci cînd propriul nostru univers ar deveni de nelocuit sau s-ar apropia de marea implozie, urmașii noștri s-ar putea decide „să-l părăsească definitiv” inițiind procesul de „în mugurire” și apoi scormonind prin ombilicul găurii de vierme în universul ce se află alături, înainte ca ea să se îngusteze. Aceasta trebuie să fie ultima treaptă a emigrării. Cu siguranță, nimeni nu are nici o idee cum sau dacă aceste ființe cutezătoare ar putea realiza această ispravă. În caz extrem, călătoria prin gaura de vierme ar trebui să fie foarte neconfortabilă, dacă gaura neagră în care ei ar trebui să se scufunde n-ar fi foarte mare.

Dar, făcînd abstracție de aceste lucruri, chiar posibilitatea existenței universurilor copii deschide perspectiva imortalității autentice nu numai pentru descendenții noștri, dar și pentru universuri. Mai bine decît să ne gîndim la viața și moartea *universului*, am putea să ne gîndim la o familie de universuri, multiplicîndu-se *la infinit*, fiecare dînd naștere la noi gene-

rații de universuri, poate chiar la mulțimi de universuri. Cu o asemenea fecunditate cosmică, mulțimea universurilor, care ar trebui numită „metavers“, ar putea să nu aibă nici început, nici sfârșit. Fiecare univers individual ar avea o naștere, o evoluție și o moarte în maniera descrisă în capitolele precedente ale cărții, dar colecția ca întreg ar exista mereu.

Acest scenariu pune întrebarea dacă crearea unui univers ca al nostru ar fi o chestiune naturală (analogă nașterii naturale a unui copil) sau rezultatul unei manipulări deliberate (un copil născut „în eprubetă“). Ne putem imagina că o comunitate de ființe suficient de avansată și de altruistă, trăind într-un univers mamă, ar putea decide să creeze universuri copii, nu pentru a-și găsi o cale de scăpare pentru propria supraviețuire, ci pur și simplu pentru a perpetua posibilitatea vieții existând undeva, dat fiind faptul că propriul lor univers este condamnat. Aceasta înlătură necesitatea de a ataca chestiunea formidabilelor obstacole ce stau în fața oricărei încercări de a construi o gaură de vierme traversabilă în universul copil.

Nu este clar pînă la ce nivel universul copil ar purta amprente genetice ale mamei. Fizicienii nu înțeleg încă de ce variatele forțe ale naturii și particule ale materiei au proprietățile pe care le au. Pe de o parte, aceste proprietăți ar putea să facă parte din legile naturii, fixate o dată pentru totdeauna în orice univers supus acestor legi. Pe de altă parte, unele din aceste proprietăți pot fi rezultatul unor accidente de evoluție. De exemplu, ar putea exista mai multe stări de vid „adevărat“, toate cu energii identice sau aproape identice. S-ar întîmpla ca atunci cînd vidul fals se dezintegrează către sfîrșitul perioadei inflaționiste, el să aleagă la întîmplare una din aceste multiple stări de vid posibile. În ceea ce privește fizica universului, alegerea stării de vid va dicta multe din pro-

prietățile particulelor și ale forțelor ce acționează între ele și ar putea chiar dicta numărul dimensiunilor spațiale. Deci un univers copil ar putea avea proprietăți complet diferite față de mama sa. S-ar putea ca viața să fie posibilă doar într-un număr foarte mic de universuri copil, în care fizica să se asemene destul de mult cu cea a propriului nostru univers. Sau poate există un fel de principiu al eredității care asigură faptul că universurile copii moștenesc îndeaproape proprietățile universurilor mamă, la adăpost de mutații ciudate, sinuoase. Fizicianul Lee Smolin a sugerat că ar putea exista chiar un tip de evoluție darwinistă ce ar opera printre universuri care, în mod indirect, să încurajeze nașterea vieții și a conștiinței. Chiar mai interesantă este posibilitatea ca universurile să fie create pe calea manipulării inteligente într-un univers mamă și să fie dotate în mod deliberat cu proprietățile necesare pentru a crea viața și conștiința.

Nici una din aceste idei nu reprezintă mult mai mult decât o speculație, dar tema cosmologiei este încă foarte tânără ca știință. Speculațiile fantastice analizate până aici servesc cel puțin ca antidot la prognozele sumbre despre care am vorbit în capitolele precedente. Ele arată că, chiar dacă urmașii noștri s-ar afla într-o zi în fața ultimelor trei minute, s-ar putea să existe mereu undeva un anumit tip de ființe conștiente.

Lumi fără sfârșit?

Ideile bizare expuse la finele ultimului capitol nu sînt singurele posibilități ce au fost disputate în căutarea unei căi de a evita dezastrul cosmic. De cîte ori țin o conferință despre sfârșitul universului, cineva mă întreabă despre modelul ciclic. Ideea este următoarea: Universul se extinde pînă la o dimensiune maximă, apoi se contractă către marea implozie, dar în loc de a se anula complet, într-un fel el „face un salt” și pornește către un alt ciclu de expansiune și contracție (vezi fig. 11.1). Acest proces ar putea continua veșnic, caz în care universul nu ar avea nici început, nici sfârșit real, deși fiecare ciclu în parte ar fi marcat de un început și un sfârșit distinct. Este o teorie la care aderă mai ales cei care au fost influențați de mitologia hindusă și budistă, în care ciclurile nașterii și morții, creației și distrugerii sînt proeminente.



FIGURA 11.1 Modelul universului ciclic. Universul pulsează în dimensiune într-un mod ciclic între stări foarte dense și stări foarte rarefiate. Fiecare ciclu începe cu o explozie inițială și se termină cu o mare implozie și este aproximativ simetric în timp.

Am subliniat două scenarii științifice foarte diferite pentru sfârșitul universului. Fiecare produce înfiorare în felul său. Perspectiva dispariției în întregime a cosmosului într-o implozie finală este alarmantă, oricât de îndepărtat în viitor s-ar afla acest eveniment. Pe de altă parte, un univers cufundat pe vecie în gol și beznă după o durată finită de activitate prodigioasă este profund deprimant. Faptul că fiecare model poate furniza superființelor posibilitatea de a realiza o putere nelimitată de procesare de informație reprezintă o slabă speranță ce nu prea ține de cald unor ființe ca noi, cu sânge cald, aparținând speciei *homo sapiens*.

Atracția modelului ciclic se datorează faptului că el evită spectrul totalei anihilări, fără a-l înlocui cu eterna degenerare și descompunere. Pentru a evita inutilitatea repetiției fără sfârșit, este important ca ciclurile să fie oarecum diferite unele față de altele. Într-o versiune populară a teoriei, fiecare ciclu nou răsare ca pasărea phoenix din înspăimântătoarea moarte a precedentului. Din această condiție inițială, își dezvoltă noi sisteme și structuri și își explorează propriile resurse bogate înainte de a șterge totul cu buretele și a merge încă o dată către următoarea mare implozie.

Oricât de atrăgătoare ar părea această teorie, ea suferă din păcate de serioase probleme fizice. Una dintre ele ar fi aceea de a identifica un proces plauzibil care ar permite universului ce colapsează să sară la o anumită densitate foarte mare, în loc de a se anihila în marea implozie. Trebuie să fie un fel de forță antigravitațională care devine copleșitor de mare în stadiile târzii ale colapsului, astfel încât să inverseze momentul imploziei și să se opună formidabilei forțe distrugătoare a gravitației. Nici o astfel de forță nu este cunoscută pînă acum, iar dacă ar exista ea ar avea proprietăți foarte stranii.

Cititorul își poate reaminti că exact o astfel de mare forță repulsivă este presupusă în teoria inflaționistă a exploziei inițiale. Totuși, să ne amintim că starea de vid excitat ce produce forța inflaționistă este foarte instabilă și curînd se dezintegrează. Deși este de conceput că micuțul univers ce se naște ar fi avut originea într-o astfel de stare instabilă este totuși altceva a postula că un univers ce se micșorează de la o condiție macroscopică complicată ar putea reuși să recapete peste tot starea de vid excitat. Situația pare asemănătoare cu a balansa un creion pe vârful său. În curînd creionul se răstoarnă; asta este ușor. Mult mai greu ar fi să lovim creionul ca să ajungă încă o dată înapoi pe vîrf.

Chiar presupunînd că asemenea probleme pot fi într-un fel depășite, rămîn dificultăți serioase legate de ideea universului ciclic. Pe una dintre acestea am discutat-o în capitolul 2. Sistemele supuse proceselor ireversibile care au o viteză finită vor tinde către starea lor finală după o perioadă finită de timp. Acest principiu a condus la prezicerea morții termice a universului în secolul al XIX-lea. Introducerea ciclurilor cosmice nu înlătură dificultatea. Universul poate fi comparat cu un ceas care-și încetinește mereu mersul. Activitatea lui va înceta inevitabil pînă la urmă dacă nu va fi întors sau reîncărcat. Dar ce mecanisme ar putea întoarce ceasul cosmic, fără ca el însuși să fie supus schimbării ireversibile?

La prima vedere, faza de colaps a universului pare o schimbare totală a proceselor fizice ce au loc în faza de expansiune. Galaxiile ce se dispersează sînt aduse iar împreună, radiația de fond care se răcește este reîncălzită, iar elementele complexe sînt descompuse, transformate într-o „ciorbă” de particule elementare. Starea universului chiar înainte de marea implozie prezintă o puternică asemănare cu starea sa de imediat după

explozia inițială. Totuși impresia de simetrie este doar superficială. Un indiciu în acest sens este faptul că astronomii ce vor trăi în timpul procesului invers, când expansiunea se va transforma în contracție, vor continua să vadă galaxiile aflate departe îndepărtându-se multe miliarde de ani. Universul pare ca și cum încă s-ar extinde, deși el se contractă. Iluzia se explică prin decalajul în apariții datorat vitezei finite a luminii.

În anii '30, cosmologul Richard Tolman a arătat că acest decalaj distruge aparenta simetrie a universului ciclic. Motivul este simplu. Începutul universului are loc cu foarte multă radiație termică rămasă de la explozia inițială. În timp, lumina stelelor crește această radiație, astfel încât după câteva miliarde de ani este aproape tot atîta energie în lumina acumulată a stelelor ce se răspîndește în spațiu cîtă este și în radiația de fond. Aceasta înseamnă că universul se apropie de marea implozie cu mult mai multă energie de radiație împrăștiată peste tot decît avea imediat după explozia inițială, astfel încît în momentul cînd universul se va contracta în cele din urmă înapoi la densitatea pe care o are azi, el va fi ceva mai fierbinte.

Energia termică suplimentară este compensată de conținutul material al universului, prin formula lui Einstein $E = mc^2$. În interiorul stelelor unde se produce energia termică, elemente ușoare ca hidrogenul se transformă în elemente grele, cum este fierul. Un nucleu de fier conține în mod normal 56 protoni și 30 neutroni. Am putea presupune că un asemenea nucleu ar trebui de aceea să aibă masa a 56 protoni și 30 neutroni, dar nu este așa. Nucleul format este cu aproape un procent mai ușor decît suma maselor particulelor individuale. Masa care „lipsește” se datorează marii energii de legătură a nucleului produsă de puternica forță nucleară, iar masa reprezentată de această energie este eliberată pentru a compensa lumina stelară.

Rezultatul tuturor acestor lucruri este un transfer net de energie de la materie către radiație. Acesta are un efect important asupra felului în care universul se contractă, deoarece forța de atracție gravitațională a radiației este diferită de cea a materiei cu aceeași energie de masă. Tolman a arătat că radiația suplimentară în faza de contracție determină universul să colapseze mai repede. Dacă printr-un anume mijloc s-ar produce un salt, universul ar începe să se extindă tot mai repede. Cu alte cuvinte, fiecare mare explozie ar fi mai mare decât precedenta. Ca urmare, universul s-ar extinde pînă la o dimensiune din ce în ce mai mare la fiecare nou ciclu, astfel ciclurile vor fi treptat tot mai mari și mai lungi.

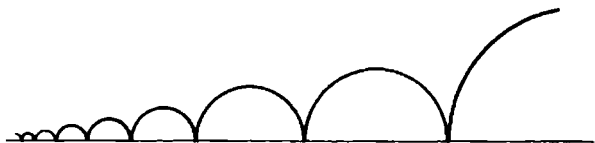


FIGURA 11.2 Procesele ireversibile determină ciclurile cosmologice să crească mereu, distrugînd astfel adevărata ciclicitate.

Creșterea ireversibilă a ciclurilor cosmice nu este un mister. Este un exemplu privind consecințele inevitabile ale celei de-a II-a legi a termodinamicii. Radiația ce se acumulează reprezintă o creștere de entropie, care se manifestă din punct de vedere gravitațional prin cicluri din ce în ce mai mari. Totuși pune capăt ideii de adevărată ciclicitate: în mod clar universul evoluează în timp. Către trecut, ciclurile merg împreună în cascade spre un început complicat și dezordonat, în timp ce ciclurile viitoare se extind fără limite, pînă cînd devin atît de lungi încît orice ciclu ar fi în mare parte de

nedistins de scenariul morții termice din modelele de expansiune permanentă.

După apariția lucrării lui Tolman, cosmologii au fost capabili să identifice alte procese fizice care sparg simetria fazelor de expansiune și contractare ale fiecărui ciclu. Un exemplu este formarea găurilor negre. În imaginea standard, universul începe fără nici o gaură neagră, dar o dată cu trecerea timpului, colapsul stelelor și alte procese determină formarea lor. Pe măsură ce galaxiile se dezvoltă, apar din ce în ce mai multe găuri negre. În timpul stadiilor târzii ale colapsului, comprimarea va stimula formarea și mai multor găuri negre. Unele dintre găurile negre se pot contopi pentru a forma găuri mai mari. Organizarea gravitațională a universului în preajma marii implozii este de aceea mult mai complicată — într-adevăr el va fi mult mai plin de găuri — decît a fost în apropierea exploziei inițiale. Dacă universul ar trebui să facă un salt, ciclul următor ar începe cu mult mai multe găuri negre decît acesta.

Concluzia ce pare inevitabilă este că orice univers ciclic ce permite structurilor și sistemelor fizice să se propage de la un ciclu la altul nu poate evita influențele degenerescente ale celei de-a II-a legi a termodinamicii. Va mai exista totuși o moarte termică. O cale pentru a evita această tristă concluzie ar fi să presupunem că condițiile fizice la salt sînt atît de extreme încît nici o informație despre ciclurile precedente nu ar putea pătrunde pînă la următorul. Toate obiectele fizice existente înainte sînt distruse, toate influențele — anihilate. De fapt, universul renaște în întregime din nimic.

Este greu totuși de văzut ce atracție prezintă acest model. Dacă fiecare ciclu este deconectat de celelalte din punct de vedere fizic, ce sens mai are să spunem că ciclurile se succed sau reprezintă *același* univers rezistînd într-un fel? Ciclurile sînt efectiv universuri distincte,

separate și ar putea fi privite la fel de bine ca existînd în paralel mai curînd decît unul după altul. Situația amintește de doctrina reîncarnării, unde persoana renăscută nu-și amintește de viețile precedente. În ce sens putem oare spune că este vorba de aceeași persoană reîncarnată?

O altă posibilitate este aceea ca a II-a lege a termodinamicii să fie oarecum violată, astfel încît „ceasul să fie reîntors“ la salt. Ce înseamnă oare pentru stricăciunile cauzate de a II-a lege ca ele să fie anulate? Să luăm un exemplu simplu privind modul de a lucra al legii a II-a: evaporarea parfumului dintr-o sticlă. O schimbare de șansă pentru parfum ar antrena o conspirație gigantică de organizare în care fiecare moleculă de parfum din cameră s-ar întoarce în sticlă. „Filmul“ s-ar derula invers. Din a II-a lege a termodinamicii obținem distincția între trecut și viitor — „săgeata timpului“. O violare a legii a II-a conduce de aceea la o răsturnare a timpului.

Este, firește, într-un fel o evaziune banală de la moartea cosmică faptul că putem presupune că timpul e gata să își schimbe sensul cînd se aude bubuitura condamnării. Cînd procesul devine prea dur, se începe pur și simplu derularea inversă a marelui film cosmic!

Oricum, ideea i-a atras pe unii cosmologi. În anii '60, astrofizicianul Thomas Gold a sugerat că timpul ar putea curge în sens invers în faza de contracție a unui univers ce se recontractă. El a arătat că o astfel de inversare de sens ar include funcțiile creierului oricăror ființe ce ar trăi în acel moment, deci ar folosi pentru a schimba simțul lor subiectiv al timpului. De aceea, locuitorii din faza de contracție nu ar vedea totul în jurul lor „mergînd înapoi“, ci ar experimenta curgerea evenimentelor înainte la fel ca și noi. De exemplu, ei ar percepe universul în expansiune, nu în contracție. În

ochii lor, faza *noastră* de univers ar fi fost cea de contracție și procesele creierului nostru ar fi fost cele ce mergeau înapoi.

În anii '80, Stephen Hawking s-a jucat și el cu ideea schimbării sensului timpului în univers pentru o vreme, pentru a o abandona apoi când a realizat că a fost „cea mai mare greșeală” a sa. La început, Hawking a crezut că mecanica cuantică aplicată unui univers ciclic implică simetria exactă a timpului. Se pare totuși că nu se întâmplă așa, cel puțin în formularea standard a mecanicii cuantice. De curînd, fizicienii Murray Gell-Mann și James Hartle au pus problema unei modificări a legilor mecanicii cuantice în care simetria timpului este pur și simplu *impusă* și apoi s-au întrebat dacă această stare de fapt ar avea vreo consecință observabilă la epoca noastră cosmică. Pînă acum răspunsul nu este clar.

O cale foarte diferită de a evita condamnarea cosmică a fost propusă de fizicianul rus Andrei Linde. Ea se bazează pe o elaborare a teoriei universului inflaționist discutată în capitolul 3. În scenariul original al universului inflaționist s-a presupus că starea cuantică a universului foarte timpuriu corespunde unui vid foarte excitat care avea ca efect o expansiune într-o creștere temporară impetuoasă. În 1983 Linde a sugerat, în loc de aceasta, că starea cuantică a universului timpuriu ar putea diferi din loc în loc într-un mod haotic: energie joasă aici, excitație moderată acolo, excitație foarte mare în unele regiuni. Acolo unde ar exista excitație s-ar produce inflație. Mai mult, calculele lui Linde asupra comportamentului stării cuantice au arătat în mod clar că stările foarte excitate se extind cel mai repede și se dezintegrează cel mai încet, astfel încît cu cît este mai excitată starea într-o anumită regiune a spațiului, cu atît se extinde universul mai mult în acea regiune. Este clar că, după foarte scurt timp, regiunile spațiului unde

energia a fost în mod accidental cea mai mare și inflația a avut loc cel mai rapid ar fi înghițit cel mai mult și ar fi ocupat partea leului din spațiul total. Linde compara situația cu evoluția darwinistă sau cu cea economică. O reușită fluctuație cuantică spre o stare foarte excitată, deși înseamnă un împrumut masiv de energie, este imediat răsplătită de o creștere uriașă a volumului acelei regiuni. Astfel, regiunile care împrumută mult, superinflaționiste devin curînd predominante.

Ca rezultat al inflației haotice, universul va fi divizat într-un roi de miniuniversuri, sau bule, unele aflate într-o inflație nebunească, altele neumflîndu-se deloc. Deoarece unele regiuni, pur și simplu ca rezultat al fluctuațiilor întîmplătoare, vor avea o energie de excitație *foarte* mare, va avea loc mult mai multă inflație în acele regiuni decît s-a presupus în teoria originară. Dar deoarece acestea sînt exact regiunile care se umflă cel mai mult, un punct selecționat la întîmplare în universul postinflaționist ar fi în mod aproape sigur localizat într-o astfel de regiune foarte inflaționistă. Astfel propria noastră localizare în spațiu se găsește probabil adînc în interiorul unei regiuni superinflaționiste. Linde a calculat că astfel de „bule mari” pot să fi inflaționat cu un factor de 10 la puterea 10^8 , ceea ce înseamnă unu urmat de o sută de milioane de zerouri!

Propriul nostru megadomeniu nu ar fi decît una din numărul infinit de bule foarte umflate, astfel încît la o scară enormă universul ar părea încă foarte haotic. În interiorul bulei noastre — care se întinde la o distanță uriașă dincolo de universul observabil în mod curent — materia și energia sînt distribuite aproximativ uniform, dar dincolo de bula noastră se găsesc alte bule, ca și regiuni aflate încă în procesul inflaționist. De fapt, în modelul lui Linde inflația nu încetează niciodată. Există întotdeauna regiuni din spațiu unde ea are loc,

unde se formează noi bule, în timp ce altele mor după ce și-au consumat ciclul de viață. Astfel, aceasta este o formă de univers etern, asemănător cu teoria universurilor copii dezbătută în capitolul precedent, unde viața, speranța și universurile izvorăsc permanent. Nu există nici un sfârșit al producerii de noi universuri-bule prin inflație, după cum probabil nu există nici un început, deși acest lucru este curent controversat.

Oare existența altor bule oferă descendenților noștri o ancoră de salvare? Pot ei evita condamnarea cosmică — sau mai curînd condamnarea bulei — prin transferul veșnic pe o bulă mai tînără, la timpul potrivit? Linde a pus această întrebare într-o lucrare înflăcărată despre „viața după inflație” publicată în revista *Physics Letters* în 1989. „Aceste rezultate înseamnă că viața într-un univers inflaționist nu se va sfîrși niciodată”, a scris el. „Din păcate, această concluzie nu înseamnă automat că putem fi foarte optimiști în legătură cu viitorul omenirii.” Linde a concluzionat că oricare dintre domeniile particulare, sau bule, va deveni încetul cu încetul de nelocuit: „Singura posibilă strategie de supraviețuire pe care o vedem în acest moment este să călătorim de la domeniile vechi către cele noi.”

Lucrul descurajator este că în versiunea teoriei inflaționiste a lui Linde, mărimea unei bule tipice este enormă. El a calculat că bula cea mai apropiată situată dincolo de a noastră ar putea fi la o distanță care, în ani lumină, trebuie să se exprime prin unu urmat de mai multe milioane de zerouri, un număr atît de mare încît ar avea nevoie de o întreagă enciclopedie numai pentru a fi scris! Chiar aproape de viteza luminii, timpul necesar pentru a ajunge la o altă bulă ar fi un număr similar de ani, dacă nu cumva printr-un noroc extraordinar s-ar întîmpla să ne aflăm la marginea propriei noastre bule și chiar în aceste fericite împrejurări, arată

Linde, am reuși doar dacă domeniul nostru va continua să se extindă într-o manieră previzibilă. Cel mai mic efect fizic ce ar fi neglijabil la epoca actuală ar putea ajunge determinant pentru modul de expansiune a universului o dată ce materia și radiația ce domină în prezent se diluează la infinit. De exemplu, ar putea rămîne în univers o forță inflaționistă foarte slabă care în prezent este total înecată de efectele gravitaționale ale materiei, dar care, dat fiind imensitatea de timp necesar ființelor pentru a evada din bula noastră, ar putea pîna la urmă să se facă simțită. În acest caz universul ar putea să-și reînceapă inflația după o perioadă destul de îndelungată, dar nu în maniera frenetică a exploziei inițiale, ci foarte încet — un fel de imitație palidă a exploziei inițiale. Totuși, acest scîncet slab, oricît de imperceptibil, ar continua mereu. Deși creșterea universului s-ar accelera doar cu o viteză mică, simplul fapt că ea se *accelerează* are o consecință fizică crucială, care este crearea unui orizont al evenimentelor în interiorul bulei care este pe dinafară ca interiorul unei găuri negre și o capcană la fel de eficientă. Orice ființe supraviețuitoare ar fi înmormîntate adînc în interiorul bulei, fără posibilitatea de a fi ajutate, deoarece cu cît ele ar încerca să ajungă mai repede la marginea bulei, cu atît ea s-ar îndepărta mai repede ca rezultat al inflației. Calculul lui Linde arată de aceea cum soarta finală a omenirii și a descendenților noștri poate depinde de efecte fizice atît de mici că nu putem avea o speranță reală de a le detecta înainte ca ele să se manifeste din punct de vedere cosmologic.

Cosmologia lui Linde este din unele puncte de vedere tributară vechii teorii a universului staționar, la modă în anii '50 și începutul anilor '60 și care încă reprezintă cea mai simplă și convingătoare propunere de a evita sfîrșitul universului. În versiunea sa originară

datorată lui Herman Bondi și Thomas Gold, teoria susține cu putere că universul rămîne pentru totdeauna neschimbat la o scară mare. De aceea el nu are nici început, nici sfîrșit. În timp ce universul se extinde, se creează în mod continuu materie nouă pentru a umple golurile și a menține o densitate totală constantă. Soarta oricărei galaxii este asemănătoare cu cea ce am descris în capitolele precedente: naștere, evoluție și moarte. Dar tot mai multe galaxii se formează mereu din materialul nou creat, care este furnizat la nesfîrșit. Aspectul general al universului ca întreg arată de aceea identic de la o epocă la alta, cu același număr total de galaxii într-un volum dat al spațiului, format dintr-un amestec de vîrste diferite. Conceptul unui univers în regim staționar nu mai are nevoie să explice cum a luat naștere universul din nimic și combină imortalitatea cosmică cu o varietate interesantă prin schimbări evolutive. De fapt el trece dincolo de aceasta și propune un cosmos veșnic tînăr, pentru că, deși galaxiile individuale mor încet, universul ca întreg nu îmbătrînește niciodată. Descendenții noștri nu vor trebui să scormonească niciodată în căutarea unor rezerve din ce în ce mai rare de energie, deoarece noua materie o produce gratuit. Locuitorii se mută doar într-o galaxie mai tînără cînd cea veche rămîne fără combustibil. Și acest lucru poate continua la infinit cu aceeași vigoare, diversitatea și activitatea fiind menținute pentru eternitate.

Există totuși unele cerințe fizice necesare pentru a face teoria să funcționeze. Universul își dublează volumul o dată la fiecare cîteva miliarde de ani, datorită expansiunii. Pentru a se menține densitatea constantă, este necesar să se creeze o cantitate de aproximativ 10^{50} tone de materie nouă de-a lungul acestei perioade. Aceasta pare mult, dar de fapt în medie înseamnă doar apariția unui atom pe secol într-o regiune din spațiu

egală ca mărime cu hangarul unei aeronave. Nu este probabil să observăm un astfel de fenomen. O problemă mai serioasă privește natura proceselor fizice responsabile de crearea materiei în această teorie. Am dori să știm de unde vine energia care furnizează masa suplimentară și în ce mod acest miraculos izvor de energie reușește să fie nelimitat. Problema a fost abordată de Fred Hoyle care, împreună cu colaboratorul său, Jayant Narlikar, a dezvoltat teoria universului staționar pînă în cele mai mici detalii. Ei au propus un nou tip de cîmp — un cîmp de creație — pentru a furniza energie. Cîmpul de creație însuși a fost postulat ca avînd energie negativă. Apariția fiecărei noi particule de materie de masă *nu* a avut ca efect o contribuție de energie $-mc^2$ la cîmpul de creație.

Deși cîmpul de creație furniza o soluție tehnică pentru problema creației, el a lăsat multe întrebări fără răspuns. Părea de asemenea mai curînd *ad hoc*, nefiind vizibile și alte manifestări ale misteriosului cîmp. Mai serios, evidența observațională începe să se ridice împotriva teoriei universului staționar prin ani '60, cea mai importantă fiind descoperirea radiației termice de fond. Acest fond uniform primește o interpretare de-a gata, ca fiind o relicvă a exploziei inițiale fierbinți, dar el este greu de explicat în mod convingător prin modelul menționat. În plus, cercetările profunde ale cerului, cu galaxiile și radiogalaxiile sale, au evidențiat fără dubiu că universul evoluează la scară mare. Cînd acest lucru a devenit clar, Hoyle și colaboratorii săi au abandonat versiunea simplă a teoriei universului staționar, deși ea își mai face din cînd în cînd reapariția în versiuni mai complicate.

În afară de problemele fizice și observaționale, teoria universului staționar ridică anumite dificultăți filozofice ciudate. De exemplu, dacă descendenții noștri

au într-adevăr la dispoziție timp și resurse *infinite*, atunci dezvoltarea lor tehnologică nu poate fi limitată. Ei ar fi liberi să se împrăștiie în întregul univers, preluând controlul asupra unor volume de spații din ce în ce mai mari. Astfel, în viitorul îndepărtat o mare porțiune din univers ar fi tehnologizată. Dar se presupune că natura pe scară largă a universului nu se schimbă în timp, așa încât afirmațiile teoriei ne obligă să concluzionăm că universul pe care-l vedem astăzi este *deja* tehnologizat. Deoarece condițiile fizice în univers sînt aceleași în toate epocile, și ființe inteligente trebuie să apară în toate timpurile. Și deoarece această stare de lucruri a existat dintotdeauna, ar trebui să existe niște comunități de ființe care să se fi aflat în jurul nostru de destul de mult timp și să se fi extins, ocupînd un larg volum de spațiu — inclusiv regiunea noastră din univers — și tehnologizîndu-l. Această concluzie nu este ocolită de presupunerea că ființele inteligente nu au în general dorința de a coloniza universul. Este suficient să apară doar o singură astfel de comunitate pentru a valida teoria. Este un alt caz al vechii ghicitori ce spune că într-un univers infinit orice lucru care este cît de cît posibil *trebuie* să se întîmple cîndva și să se întîmple infinit de des. Urmărind logica acestei concluzii amare, teoria universului staționar prezice că procesele universului sînt identice activităților tehnologice ale locuitorilor săi. Ceea ce numim natură este, de fapt, activitatea unei superființe sau a unei comunități de superființe. Aceasta pare o versiune a demiurgului lui Platon (o zeitate ce lucrează în limitele legilor fizice deja stabilite) și este interesant că Hoyle, în teoriile sale cosmologice ulterioare, susține în mod explicit o astfel de superființă.

Orice discuție despre sfîrșitul universului ne pune în fața problemei scopului! Am arătat deja că perspectiva unui univers pe moarte l-a convins pe Bertrand

Russell asupra inutilității finale a existenței. Acest sentiment a avut ecou în ultimii ani prin Steven Weinberg, a cărui carte *The First Three Minutes* culminează cu concluzia clară: „cu cât universul pare mai comprehensibil, cu atât el pare și mai lipsit de sens“. Am pus în discuție faptul că poate frica inițială de moartea termică înceată a cosmosului a fost exagerată sau chiar greșită, deși moartea bruscă printr-o mare implozie rămîne o posibilitate. Am făcut deja speculații vaste despre activitățile superființelor care pot săvîrși obiective fizice și intelectuale miraculoase împotriva sorților de izbîndă. Am aruncat o privire scurtă și asupra posibilității ca gîndurile să nu cunoască limite, chiar dacă universul le are.

Dar pot oare aceste scenarii alternative să ne aline? Un prieten remarca odată că din ceea ce a auzit despre paradis, acesta nu-l prea interesează. Perspectiva de a trăi veșnic într-o formă de echilibru sublim i se pare chiar neatrăgătoare. Este mai bine să mori rapid și să termini decît să faci față plictisitoarei vieți eterne. Dacă imortalitatea este limitată la a avea aceleași gînduri și experiențe care să se repete mereu, într-adevăr ea pare lipsită de sens. Totuși, dacă imortalitatea este asociată cu progresul, atunci ne putem imagina trăind într-o stare de perpetuă înnoire, mereu învățînd sau făcînd ceva nou și interesant. Întrebarea este — pentru ce? Cînd ființele umane se angajează la un proiect, ele au în minte un anume țel. Dacă țelul nu a fost atins, atunci proiectul a eșuat (deși experiența nu este neapărat lipsită de valoare). Pe de altă parte, dacă scopul este atins, proiectul se va încheia și activitatea va înceta. Dar poate oare exista un adevărat scop într-un proiect care nu se încheie *niciodată*? Poate existența să aibă sens dacă ea constă dintr-o călătorie nesfîrșită către o destinație ce nu se atinge *niciodată*?

Dacă există un țel al universului și el își atinge ținta, atunci el trebuie să se sfârșească, deoarece existența sa continuă ar fi nejustificată și fără sens. Invers, dacă universul durează pe vecie, e greu de imaginat că el ar avea vreun scop final. Astfel, moartea cosmică ar putea fi prețul plătit pentru succesul cosmic. Atunci putem spera cel mult că scopul universului se va dezvălui descendenților noștri înainte de sfârșitul ultimelor trei minute.

BIBLIOGRAFIE

- Barrow, John D., Tipler, Frank J., *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford, Oxford University Press, 1986.
- Burrows, Adam, „The Birth of Neutron Stars and Black Holes“, în *Physics Today*, 40 (1987) 9: 28.
- Chapman, Clark R., Morrison, David, *Cosmic Catastrophes*, New York & London, Plenum Press, 1989.
- Close, Frank, *End: Cosmic Catastrophe and the Fate of the Universe*, New York, Simon & Schuster, 1988.
- Coleman, Sidney, De Luccia, Frank, „Gravitational Effects on and of Vacuum Decay“ în *Physical Review D*, 21 (1980) 3305.
- Davies, Paul, *The Cosmic Blueprint*, New York, Simon & Schuster, 1989.
- *The Mind of God*, New York, Simon & Schuster, 1991.
- Dyson, Freeman J., „Time without End: Physics and Biology in an Open Universe“, în *Reviews of Modern Physics*, 51 (1979) 447.
- Gold, Thomas, „The Arrow of Time“, în *American Journal of Physics*, 30 (1962) 403.
- Hawking, Stephen W., *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*, New York, Bantam, 1988.
- Hut, Piet, Rees, Martin J., „How Stable Is Our Vacuum?“, în *Nature*, 302 (1983) 508.
- Islam, Jamal N., *The Ultimate Fate of the Universe*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983.
- Linde, Andrei D., *Particle Physics and Inflationary Cosmology*, New York, Gordon & Breach, 1991.
- Luminet, Jean-Pierre, *Black Holes*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992.
- Misner, Charles W., Thorne, Kip S., Wheeler, John A., *Gravitation*, San Francisco, W. H. Freeman, 1970.

- Page, Don, McKee, Randall, „Eternity Matters“ în *Nature*, 291 (1981) 44.
- Rees, Martin J., „The Collapse of the Universe: An Eschatological Study“ *The Observatory*, 89 (1969) 193.
- Smolin, Lee, „Did the Universe Evolve“, în *Classical and Quantum Gravity*, 9 (1992) 173.
- Tipler, Frank J., *The Physics of Immortality*, New York, Doubleday, 1994.
- Tolman, Richard C., *Relativity, Thermodynamics, and Cosmology*, Oxford, Clarendon Press, 1934.
- Turner, Michael S., Wilczek, Frank, „Is Our Vacuum Metastable?“, în *Nature*, 298 (1982) 633.
- Waldrop, M. Mitchell, *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*, New York, Simon & Schuster, 1992.
- Weinberg, Steven, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*, ed. modernizată, New York, Basic Books, 1988.

CUPRINS

Prefață	7
1. Ziua judecății de apoi	13
2. Agonia universului	21
3. Primele trei minute	32
4. Destinul stelelor	51
5. Căderea nopții	65
6. Cîntărind universul	84
7. Pentru totdeauna reprezintă un timp îndelungat	100
8. Viața în ritm lent	119
9. Viața în ritm rapid	140
10. Moarte bruscă — și renaștere	149
11. Lumi fără sfîrșit?	163
Bibliografie	179

SCIENCE MASTERS

Seria SCIENCE MASTERS, publicată simultan în peste 25 de limbi, va cuprinde 12 cărți de difuzare a informației științifice într-o formă atractivă, accesibilă publicului larg. Oameni de știință eminenți din domenii ce merg de la astrofizică până la zoologie își fac cunoscute aici ideile și teoriile cele mai noi.

Eu văd acest proiect ca pe un năvod aruncat peste lume. Recolta va fi următoarea generație de gânditori și oameni de știință ai planetei noastre.

DANIEL C. DENNETT

Imaginați-vă că ați fi astronaut și ați cădea tot mai adânc într-o gaură neagră sau că sînteți martorul ultimei zile a soarelui, al începutului pieirii stelelor, al lungilor momente de după dispariția luminii cînd n-a mai rămas decît gravitația așteptînd să strivească toată materia încă existentă.

Cum va sfîrși lumea? Dar va sfîrși ea vreodată? Dacă da – atunci ce se va întîmpla cu noi? Pot să supraviețuiască urmașii noștri sfîrșitului universului?

**O SERIE LANSATĂ CONCOMITENT
ÎN PESTE 50 DE ȚĂRI**